

В.Н. Орлов, В.Е. Овсянников, Г.Н. Шпитко

**ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И ИННОВАЦИИ
В АВТОМОБИЛЕ- И ТРАКТОРОСТРОЕНИИ**

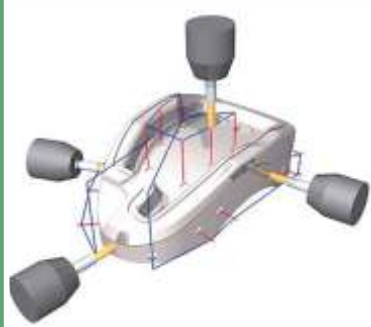
ISBN 978-5-4217-0240-5

9 785421 702405

Курганский
государственный
университет

редакционно-издательский
центр

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Курганский государственный университет»

В.Н. Орлов, В.Е. Овсянников, Г.Н. Шпитко

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИННОВАЦИИ В АВТОМОБИЛЕ- И ТРАКТОРОСТРОЕНИИ

Учебное пособие

*Допущено УМО вузов РФ по образованию в области транспортных машин и
транспортно-технологических комплексов в качестве учебного пособия для
студентов вузов, обучающихся по специальности
«Автомобиле- и тракторостроение»*

Курган 2014

УДК 621.002

ББК 34.5

О 66

Рецензенты

кафедра «Технологии машиностроения» Тюменского нефтегазового университета (зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. Ю.И. Некрасов);

кафедра «Автомобилестроение» Южно-уральского государственного университета (зав. кафедрой - канд. техн. наук, доцент В.В. Краснокутский)

Печатается по решению методического совета Курганского государственного университета.

О 66 Орлов, В. Н. Промышленные технологии и инновации в автомобиле- и тракторостроении [Текст] : учебное пособие / В. Н. Орлов, В. Е. Овсянников, Г. Н. Шпитко. – Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2014. –154 с.

В учебном пособии излагаются основы проектирования технологических процессов механической обработки разнообразных деталей, входящих в состав изделий транспортного машиностроения, приводятся сведения о конструктивных и технологических особенностях деталей, способах их базирования, технологии обработки основных и вспомогательных поверхностей на различном металлообрабатывающем оборудовании, в том числе и на станках с ЧПУ, токарных и фрезерных обрабатывающих центрах с использованием 4 и 5 осевых координатных систем.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальностям 151001 «Технология машиностроения», 200503 «Стандартизация и сертификация», 190201 «Автомобиле- и тракторостроение», 220601 «Управление инновациями» и по направлениям 151900 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», 190100 «Наземные транспортно-технологические средства», 221700 «Стандартизация и метрология» и 222000 «Инноватика».

УДК 621.002

ББК 34.5

Рис. – 61, табл. – 8, библиограф. – 65 назв.

ISBN 978-5-4217-0240-5

© Курганский
государственный
университет, 2014
© Орлов В.Н.,
Овсянников В.Е.,
Шпитко Г.Н., 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
Г л а в а 1. Технология изготовления деталей типа валов	9
1.1 Конструктивные и технологические особенности деталей.....	9
1.2 Технологичность конструкций деталей.....	12
1.3 Выбор технологических баз.....	16
1.4 Основы проектирования технологических процессов механической обработки заготовок.....	20
1.4.1 Принципы проектирования.....	20
1.4.2 Составление технологического маршрута	21
1.5. Технология обработки основных поверхностей.....	25
1.5.1 Подрезание и центрование торцев	25
1.5.2 Токарная обработка.....	27
1.5.3 Обработка шлицевых поверхностей	43
1.5.4 Шлифование наружных поверхностей	47
Г л а в а 2 Технология изготовления деталей типа полых цилиндров	51
2.1 Общая характеристика деталей	51
2.2 Основные технологические требования	53
2.3 Базирование и типовая схема обработки заготовок	54
2.4 Технология выполнения основных и второстепенных операций.....	57
2.4.1 Токарная обработка.....	57
2.4.2 Обработка крепежных отверстий	61
2.4.3 Отделочная обработка центральных отверстий.....	61
Г л а в а 3. Технология изготовления деталей типа дисков	65
3.1 Конструктивные и технологические особенности деталей	65
3.2 Материалы и методы получения заготовок.....	66
3.3 Технологичность, базирование и типовая схема обработки заготовок	70
3.4 Технология обработки основных поверхностей.....	72
3.4.1 Основные методы формирования зубьев	73
3.4.2 Основные методы отделки зубьев цилиндрических колес... ..	79
3.5 Обработка на многоцелевых станках.....	85
Г л а в а 4. Технология изготовления корпусных деталей.....	89
4.1 Назначение и характеристика корпусных деталей.....	89
4.2 Материалы и методы получения заготовок.....	92
4.3 Технологичность корпусных деталей	95
4.4 Базирование деталей	102
4.5 Технологический маршрут изготовления деталей	105

4.6	Технология обработки основных и вспомогательных поверхностей.....	109
4.6.1	Обработка плоскостей	109
4.6.2	Обработка основных отверстий.....	122
4.6.3	Обработка вспомогательных отверстий	133
4.7	Обработка на многоцелевых станках.....	137
Г л а в а 5.	Технология изготовления деталей типа рычагов.....	140
5.1	Служебное назначение, конструктивные и технологические особенности деталей	140
5.2	Технологичность, последовательность изготовления деталей и их базирование.....	142
	Список литературы	150

ВВЕДЕНИЕ

Одним из главных условий развития экономики страны в современный период является постоянное повышение конкурентоспособности продукции на внутреннем и мировом рынках, которую можно обеспечить ее высоким качеством. Основой народного хозяйства, определяющей его технологический уровень, является машиностроение. Машиностроение обеспечивает воспроизводство основных фондов всех отраслей народного хозяйства и потребность населения в машиностроительных изделиях. От уровня развития машиностроения решающим образом зависят эффективность структурных преобразований в экономике страны, благосостояние народа и обороноспособность государства.

Современное машиностроение характеризуется непрерывно увеличивающейся долей продукции, выпускаемой небольшими сериями или в единичных экземплярах. В настоящее время примерно 75% от общего объема изделий приходится на долю мелко- и среднесерийного производства. Такое положение обусловлено как непрерывным расширением области деятельности человека, так и быстрым изменением спроса разных групп потребителей. Создаваемые машины характеризуются повышением их производительности, быстроходности, удельной мощности и надёжности, при снижении весовых и габаритных показателей. Это влечёт за собой использование новых высокопрочных, имеющих специальные свойства, конструкционных материалов, которые в большинстве случаев являются труднообрабатываемыми. Однако технический прогресс определяется не только улучшением конструкций машин, но и непрерывным совершенствованием технологии их производства. Разработка технологических процессов изготовления деталей представляет собой один из ответственных этапов подготовки производства. Технологические процессы должны обеспечивать высокое качество изделий в соответствии с техническими условиями эксплуатации при минимальных затратах времени и средств.

На современном этапе развития машиностроения решающими средствами существенного повышения эффективности производства является автоматизация производственного процесса, которая освобождает человека от ряда функций управления и одновременно повышает его роль как организатора и руководителя производства [39]. Автоматизация означает применение качественно новых систем машин, при которых без содействия человека, но под его контролем выполняются функции обработки, транспортирования обрабатываемых заготовок или инструментов, контроля качества, регулирования и управления производственным процессом. Необходимость автоматизации обусловлена прежде всего участием в современном производстве большого количества механизмов, протеканием производственных процессов с большой скоростью и трудностью их регулирования человеком, ввиду его ограниченных физиологических воз-

возможностей [39]. Кроме того, жёсткие требования к качеству продукции обуславливают повышение точностных параметров технологических процессов, которые невозможно обеспечить без использования средств автоматизации.

В машиностроении автоматизация уже много лет является реальностью для крупносерийного и массового производства, где широко используются полуавтоматы, автоматы, специальные и агрегатные станки, автоматические и роторные линии, а также другие средства жёсткой автоматизации производственных процессов. Однако увеличение номенклатуры выпускаемых изделий, смещение производства в сторону мелко- и среднесерийного, частые перестройки действующего производства, связанные с переходом от одного вида продукции к другому, не могут быть обеспечены традиционными средствами автоматизации.

Решение этой проблемы возможно через широкое внедрение в производство гибких автоматизированных систем, представляющих качественно новый этап в комплексной автоматизации производственного процесса, вследствие их создания на основе широкого применения программноуправляемого технологического оборудования, микропроцессорных устройств, средств автоматизации проектно-конструкторских, технологических и производственных работ. Основу автоматизации гибких автоматизированных производственных систем составляют программируемое технологическое оборудование, управляющие вычислительные комплексы и методы групповой технологии, что позволяет обеспечить переход на безлюдную или малолюдную технологию в условиях многономенклатурного производства [10].

Вопросы обеспечения высокого качества выпускаемой продукции и внедрения гибких автоматизированных производств тесно связаны между собой. Известно, что изделия, изготовленные на гибких производственных системах (ГПС), более качественны в силу многочисленных контрольных и диагностических устройств и машин, управляющих процессом изготовления деталей.

Преобладающей тенденцией развития технологии в автоматизированном производстве является внедрение малоотходной и малооперационной технологии, использование точных заготовок, близких по форме и размерам к готовым изделиям, что способствует экономии металла, уменьшению объема механической обработки, сокращению производственного цикла изготовления деталей и снижению себестоимости продукции в целом.

Таким образом, успешному решению актуальных проблем технологии производства машин способствуют следующие основные направления [1]:

- ресурсосберегающая гибкая технология машиностроительного производства;
- управление качеством конкурентоспособных машиностроительных изделий;

- подготовка и организация гибкого автоматизированного механосборочного производства;
- экономика внедрения новых технологий;
- программируемая автоматизация производственных процессов;
- системы автоматизированного проектирования технологических процессов.

Как уже отмечалось, характерной чертой машиностроения в современных рыночных условиях является увеличение номенклатуры новых промышленных изделий, в том числе и различных наземных транспортных систем (грузовых и легковых автомобилей, автобусов, мотоциклов, тракторов, колесных и гусеничных машин специального назначения и т.п.). Особенностью транспортных средств является повышение требований к их техническому уровню и качеству, а также достаточная сложность этих изделий, включающих тысячи деталей самых разнообразных форм и размеров. Транспортные машины состоят из большого количества агрегатов и механизмов, которые, в свою очередь, собираются из различных деталей. Эксплуатационные характеристики этих машин определяются в основном подвижностью и грузоподъемностью. Характерным типом производства автомобилей, тракторов и изделий специального назначения является серийное, при этом выпуск колесных и гусеничных транспортных средств специального назначения чаще производится небольшими партиями в условиях мелко- и среднесерийного производства, а выпуск автомобилей и тракторов общего назначения – в условиях крупносерийного производства. Поэтому для изготовления деталей автомобиле- и тракторостроения используется самое разнообразное технологическое оборудование, включая как полуавтоматы, автоматы, агрегатные и специальные станки, так и универсальное металлообрабатывающее оборудование с ручным и числовым программным управлением (ЧПУ).

Несмотря на большое разнообразие изделий автотракторостроения, значительная часть их основных агрегатов и механизмов состоит из типовых деталей, таких как корпуса, крышки, валы, зубчатые колеса, диски, стаканы, втулки, рычаги и т.д. Согласно общесоюзному классификатору ЕСКД [16] все детали машиностроения могут быть разбиты на шесть классов. Классы содержат следующую номенклатуру деталей:

- Класс 71 – детали – тела вращения типа колец, дисков, шкивов, блоков, стержней, втулок, стаканов, валов, осей, штоков, шпинделей и др.
- Класс 72 – детали – тела вращения с элементами зубчатого зацепления; трубы, шланги, проволоки, разрезные секторы, сегменты; изогнутые из листов, полос и лент; аэродинамические; корпусные, опорные, емкостные, подшипников.
- Класс 73 – детали - не тела вращения: корпусные, опорные, емкостные.
- Класс 74 – детали - не тела вращения: плоскостные; рычажные, грузовые, тяговые; аэродинамические; изогнутые из листов, полос и лент; профильные; трубы.

- Класс 75 – детали – тела вращения и (или) не тела вращения: кулачковые, карданные, с элементами зацепления, арматуры, санитарно-технические, разветвленные, пружинные, ручки, уплотнительные, отсчетные, пояснительные, маркировочные, защитные, оптические, электрорадиоэлектронные, крепежные.

- Класс 76 – детали технологической оснастки, инструмента.

Данный классификатор деталей является базой для решения целого ряда задач, таких как поиск ранее выпущенных чертежей с целью их максимального заимствования при проектировании новых изделий с помощью информационно-поисковых систем; унификация и стандартизация изделий; создание поддетально-специализированных подразделений с организацией в них группового производства; применение обозначения изделий и их конструкторских документов в качестве единого информационного языка для автоматизированных систем при подготовке и управлении производством.

К сожалению, одним из недостатков общесоюзного классификатора является то, что каждый класс объединяет совершенно различные по конструкции детали, имеющие какой-либо общий признак. Например, к классу 71 отнесены детали-тела вращения типа колец, дисков, шкивов, втулок, стаканов, осей, валов и др. без элементов зубчатого зацепления. Подобные детали, но имеющие элементы зубчатого зацепления или расположенные эксцентрично поверхности, включены в классы 72 и 75. Аналогичное положение складывается в классе 76, куда отнесены инструменты, такие как сверла, метчики и развертки, имеющие сходную с обычными валами технологию изготовления. В класс 73, наряду с объемными корпусами, входят детали типа салазок, столов, станин, крышек. Подобные же конструкции изделий, например: направляющие типа «ласточкин хвост» отнесены к классу 74, а рейка зубчатая к классу 75, в который вообще включены детали самой разнообразной формы, в том числе и корпусные детали с элементами тел вращения.

Такое положение, когда в одном классе сосредоточены детали различной конфигурации при одновременном отнесении деталей подобной формы к разным классам, затрудняет использование общесоюзного классификатора для разработки типовых технологических процессов. Более целесообразной для этой цели является классификация, объединяющая в группы детали, близкие по форме, размерам и общности технологического процесса их изготовления.

Учитывая важность технологической подготовки производства, а также недостаточное количество соответствующей учебной и специальной литературы, в настоящее учебное пособие включены основные вопросы, связанные с технологией изготовления типовых деталей транспортных машин различной конфигурации применительно к современному машиностроительному производству.

Глава 1. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ВАЛОВ

1.1 Конструктивные и технологические особенности деталей

В механизмах автомобилей и тракторов для передачи крутящего момента, преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное, а также поддержания вращающихся деталей широко применяются так называемые круглые стержни, т.е. детали, которые характеризуются цилиндрической формой при габаритной длине, более чем в два раза превышающей ее наружный диаметр. К круглым стержням относятся валы и оси, штоки, круглые тяги, трубы, пальцы и т.п. Наибольшее распространение получили валы, имеющие различное служебное назначение, конструктивную форму и размеры. В настоящее время широко используются как цельные, так и пустотелые гладкие и ступенчатые валы; валы с фасонными поверхностями (кулачками, шлицами, зубчатыми венцами, фланцами и т.п.). По форме геометрической оси валы могут быть прямыми, коленчатыми и кулачковыми. В автотракторостроении наибольшее применение получили различные ступенчатые валы средних размеров со шлицами, глухими и сквозными отверстиями. Шлицевые валы изготавливаются в основном с закрытыми шлицами прямобочного и эвольвентного профиля. Достаточно часто используются и валы-шестерни.

Наиболее ответственными у валов являются посадочные цилиндрические и торцевые поверхности под подшипники, шестерни, муфты, рабочие кромки манжет уплотнения, а также шлицевые поверхности, зубчатые венцы, кулачки.

Шероховатость рабочих поверхностей шлицевых валов должна быть для поверхностей под рабочие кромки манжет уплотнения $R_a = 0,63$ мкм; для посадочных поверхностей под подшипники диаметром до 80 мм $R_a = 1,25$ мкм, диаметром более 80 мм $R_a = 2,5$ мкм; для цилиндрических центрирующих поверхностей шлицев $R_a = 1,25$ мкм; для боковых поверхностей шлицев вала с подвижным соединением $R_a = 2,5$ мкм, с неподвижным соединением $R_z = 20$ мкм. Шероховатость боковых поверхностей зубьев валов-шестерён обычно составляет $R_a = 2,5-5$ мкм.

Требования по точности обработки рабочих поверхностей зависят от условий работы изделия и от точности сопрягаемых деталей. Как правило, наиболее точные наружные цилиндрические поверхности валов изготавливают по 6-8 квалитетам. Радиальное биение посадочных поверхностей под подшипники качения относительно оси детали допускается в пределах 0,01-0,05 мм. При центрировании шлицев по наружному или внутреннему диаметрам допуски на эти размеры устанавливаются по 6-му квалитету. Отклонение от параллельности боковых поверхностей шлицев относительно оси вала не должно превышать 0,05 мм на длине 100 мм. Точность зубчатых венцов валов-шестерён, как правило, соответ-

ствуется 6-9-й степеням точности по ГОСТ 1643-81 для цилиндрических зубчатых колёс и ГОСТ 9178-81 для конических зубчатых колёс. Наружную резьбу на валах выполняют по среднему классу точности с полем допуска 6g (ГОСТ 16093-81).

Материал деталей выбирают в зависимости от их назначения. Обычно валы и оси изготавливают из сталей, обладающих высокой прочностью, малой чувствительностью к концентрации напряжений, хорошей обрабатываемостью и способностью подвергаться термической обработке. Этим требованиям наиболее отвечают конструкционные углеродистые стали 35, 40, 45, 50, а также низколегированные стали 35Х, 35ХС, 40Х, 40ХН, 40Г, 40ХС, 50Х, 50Г и др. Шлицевые валы и валы-шестерни для повышения долговечности выполняют из высоколегированных сталей, так как в этом случае обеспечиваются необходимая твёрдость рабочих поверхностей и сердцевины, высокая прочность, ударная вязкость и износостойкость, минимальное коробление при закалке. Так, для изготовления шлицевых валов используют стали 18ХГТ, 12ХНЗА, 20ХНЗА с последующей термической обработкой до твёрдости 56-62 HRC₃. Для повышения обрабатываемости исходные заготовки валов подвергают нормализации (твёрдость после термической обработки HB 187-230) или проводят термическую обработку после черновой обработки (после улучшения твёрдость HB 225-302, 28-32 HRC₃). Для повышения износостойкости и прочности отдельные поверхности подвергают закалке ТВЧ (глубина слоя 1,5-5 мм, твёрдость в пределах 45-62 HRC₃), цементации, цианированию с последующей закалкой и отпуском (глубина слоя 0,1-1,1 мм, твёрдость 58-62 HRC₃) [56]. Валы, работающие в агрессивных средах, выполняют из коррозионностойких сталей и сплавов. Распределительные и коленчатые валы часто изготавливают из специальных высокопрочных чугунов. Структура литого вала способствует лучшему гашению вибрации при работе двигателя. Такие валы менее чувствительны к концентрации напряжений.

Трудоемкость, себестоимость и производительность процесса изготовления валов и осей, а также качество их поверхностного слоя во многом определяются заготовкой. На выбор метода получения заготовки большое влияние оказывают материал детали, ее служебное назначение, объем годового выпуска, форма поверхностей и размеры детали.

Основным направлением развития заготовительного производства является получение точных заготовок, близких по форме и размерам к готовым изделиям, что способствует экономии металла, уменьшению объема механической обработки, сокращению производственного цикла изготовления деталей и снижению себестоимости продукции в целом [19].

В условиях единичного и мелкосерийного производства валы изготавливают непосредственно из круглого или трубного проката. Горячекатаный и хо-

лодотянутый прокат используется и в других типах производства для изготовления гладких валов и осей, ступенчатых валов с небольшим числом ступеней и малыми перепадами диаметров. Заготовки для крупных деталей в единичном и мелкосерийном производствах могут быть получены ковкой на ковочных гидравлических прессах или на паровоздушных, пневматических и рессорно-пружинных молотах.

В институте тяжелого машиностроения разработана методика проектирования технологииковки крупных коленчатых валов в штампах высадки с гибкой, дающая большую экономию металла и позволяющая повысить качество поковок [46]. При получении свободной ковкой мелких и средних поковок для повышения точности и производительности используют подкладные штампы [2; 29]. Валы и оси с фланцами целесообразно изготавливать сборно-сварными, что позволяет существенно повысить коэффициент использования материала ($K_{и.м.}$) [45].

При механической обработке валов в автоматизированном производстве, в частности на станках с ЧПУ, использование заготовок с низкой точностью недопустимо. В этом случае припуски и допуски заготовок должны быть на 10-30% меньше, чем при обработке на станках с ручным управлением. Ужесточение требований по точности заготовок, обрабатываемых на станках с ЧПУ, обусловлено необходимостью уменьшить нагрузку на дорогостоящее оборудование, стремлением сократить количество стружки, создать благоприятные условия для работы режущего инструмента.

При производстве с достаточно большим масштабом выпуска, а также при изготовлении валов более сложной конфигурации со ступенями, значительно различающимися по диаметрам, заготовки целесообразно получать горячей объемной штамповкой, имеющей существенные преимущества перед ковкой. Ее выполняют в открытых и закрытых штампах и штампах для выдавливания. Горячим выдавливанием получают заготовки валов со ступенями, убывающими по диаметру: на гидравлических и кривошипных горячештамповочных прессах при длине вала до 300 мм, на горизонтально-ковочных машинах при длине вала более 150 мм. При получении заготовок этим методом коэффициент использования материала достигает 0,7 [56]. Повышению производительности горячей штамповки и улучшению качества заготовок способствует автоматизация процесса, которая облегчает условия труда и уменьшает вероятность травматизма. Перспективным направлением является использование при горячей объемной штамповке квадратного профиля исходного металла взамен круглого, т.к. себестоимость квадратного профиля значительно ниже, что подтверждается опытом работы кузнечно-штамповочных цехов наиболее развитых в промышленном отношении стран [46].

Прогрессивным методом получения заготовок является штамповка на ра-

диально-обжимных и ротационно-ковочных машинах. На этих машинах обрабатывают осесимметричные детали с цилиндрическими поверхностями диаметром до 600 мм в горячем и холодном состоянии. Метод целесообразно применять при объеме годового выпуска деталей 3000 штук и более. На радиально-обжимных и ротационно-ковочных машинах можно изготавливать ступенчатые и удлиненные поковки из углеродистых и легированных сталей, сплавов, металлокерамики и металлопорошков; получать отверстия малых диаметров на относительно большой длине [2].

Используя метод ротационного обжатия, можно обеспечить шероховатость поверхности: $Ra = 0,32-0,08$ мкм при холодной и $Ra = 5-1,25$ мкм при горячей обработке. В этих случаях обжатие позволяет одновременно заменить точение и шлифование. Точность обработки при холодном обжатии соответствует 6-8-му, а при горячем - 11-13-му квалитетам; $K_{и.м.}$ составляет 0,80-0,85 [2; 49].

В массовом и крупносерийном производстве автомобилей и тракторов для изготовления полуосей, осей катков, распределительных валов, деталей подвески и т.п. внедряются методы профилирования заготовок на станах поперечной, поперечно-винтовой и поперечно-клиновой прокатки. Эти методы обеспечивают производство заготовок со значительным перепадом поперечных сечений, хорошим качеством поверхностного слоя, высокой точностью и производительностью. $K_{и.м.}$ при этом достигает 0,90-0,95, что позволяет снизить себестоимость деталей [41; 45].

Область использования литья для получения заготовок рассматриваемых деталей весьма незначительна.

Более подробно ознакомиться с характеристикой различных методов получения заготовок деталей типа валов можно в технической литературе [2; 3; 29; 41; 42; 45; 49].

1.2 Технологичность конструкций деталей

Совершенство конструкции машины характеризуется ее соответствием современному уровню техники, экономичностью и удобством в эксплуатации, а также тем, в какой мере учтены возможности использования экономичных и производительных методов ее изготовления применительно к заданному выпуску и условиям производства. Конструкцию машины, в которой эти возможности полностью учтены, называют технологичной.

Технологичность конструкции изделия – понятие относительное. Технологичность конструкции одной и той же машины будет разной для различных типов производства. Развитие производственной техники изменяет уровень технологичности конструкции. Ранее нетехнологичные конструкции могут стать

вполне технологичными при новых методах обработки.

Технологичность конструкции изделия – понятие комплексное. Технологичность конструкции нельзя рассматривать изолированно без взаимной связи и условий выполнения заготовительных процессов, процессов обработки, сборки и контроля. Понятие технологичности конструкции изделия распространяется не только на область производства, но и на область его эксплуатации. Конструкция должна быть удобной для обслуживания и ремонта.

Улучшением технологичности конструкции можно увеличить выпуск продукции при тех же средствах производства. Трудоемкость машин нередко удается сократить на 15-25%, а себестоимость их изготовления на 5-10% [18; 38]. Недооценка технологичности конструкций часто приводит к необходимости корректировки рабочих чертежей после их составления, удлинению сроков подготовки и дополнительным издержкам производства. Основными критериями оценки деталей, подвергающихся механической обработке, являются трудоёмкость, точность и стабильность получения геометрических размеров, а также шероховатость поверхностей. Трудоёмкость механической обработки тем выше, чем больше число поверхностей подвергают обработке, чем сложнее эти поверхности по своим геометрическим формам, чем больше их протяженность и чем выше требования по точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей.

Поэтому при конструировании следует предусматривать как можно большее количество поверхностей деталей без последующей механической обработки, а поверхности, требующие обработки, должны иметь минимально допустимые размеры и припуски. Наиболее производительны и точно могут быть обработаны поверхности, получаемые при простых относительных движениях инструмента и заготовки: при прямолинейном поступательном и вращательном движениях.

Поверхности детали должны иметь оптимальные, экономически и конструктивно обоснованные точность и шероховатость. Завышенные требования к точности и шероховатости повышают себестоимость детали. При выборе материала детали следует назначать материал, обладающий лучшей обрабатываемостью, учитывая, что скорость резания в этом случае может быть повышена.

Не менее важным требованием к процессу механической обработки является обеспечение точности и стабильности получения геометрических размеров. Точность и стабильность обработки в значительной степени определяются надёжностью технологических баз и жесткостью крепления детали при обработке, жесткостью конструкции детали, совмещением технологических, конструкторских и измерительных баз, нормальными условиями врезания и выхода режущего инструмента [51]. Выбор измерительных баз и постановка размеров

должны обеспечивать наибольшие удобства, надежность и производительность контроля, возможность применения простых по конструкции контрольно-измерительных инструментов и приспособлений, а также проверки нескольких размеров при одном положении детали. Недопустима простановка размеров, проверка которых связана с выполнением подсчетов и с косвенными методами контроля.

Чтобы обеспечить качественное и экономичное изготовление деталей типа валов, учитывая перечисленные выше общие требования к ним, необходимо в процессе проектирования соблюдать следующие технологические требования [38; 51; 52]:

1 Точные валы и оси целесообразно обрабатывать в центрах, при этом следует предусматривать оставление центровых отверстий в готовой детали на случай точения или шлифования вала при ремонте. Кроме того наличие центровых отверстий упрощает контроль.

2 Там, где возможно по условиям конструкции, следует избегать применения ступенчатых валов и осей. Гладкие валы и оси целесообразно изготавливать из калиброванного проката. В том случае, если деталь имеет фланец, головку или буртик, целесообразно предусматривать применение калиброванного проката с высадкой фланца, головки или буртика на горизонтально-ковочной машине.

3 Ступенчатые валы и оси должны иметь по возможности небольшие перепады диаметров, увеличивающиеся или уменьшающиеся в одном направлении. При этом на разных ступенях желательно иметь перепады одинаковыми. Ступени по длине желательно предусматривать одинаковыми или кратными. Такие ступени можно обрабатывать одновременно несколькими резцами на многолезцовых станках.

4 В конструкциях валов и осей следует избегать шпонок, изготовленных с ними как за одно целое. Более технологичной будет являться конструкция детали со шпоночными пазами, расположенными с одной стороны детали.

5 При конструировании валов и осей со шпоночными пазами следует отдавать предпочтение пазам, образуемым дисковой фрезой, так как обработка пазов концевыми фрезами хотя и более точная, но менее производительная (рисунок 1.1).

6 При проектировании валов и осей со шлицами желательно предусматривать возможность свободного выхода режущего инструмента, для чего диаметр шейки, прилегающей к шлицевому участку, выполняют меньшим внутреннего диаметра шлицев.

7 Сторону квадрата, образуемого на валу, следует делать большей, чем диаметр прилегающей шейки (рисунок 1.2 а, б).

8 При нарезании наружной резьбы на шейках вала следует предусматри-

вать заходную фаску и канавку для выхода инструмента (рисунок 1.2 в, г).

9 При проектировании валов и осей, проходящих закалку, особенно с нагревом ТВЧ, необходимо избегать отверстий, пересекающих закаленную зону, во избежание трещин или оплавления острых кромок.

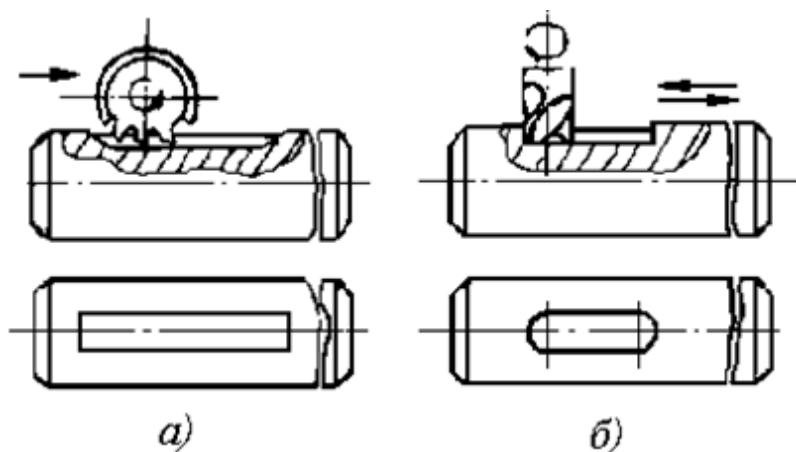


Рисунок – 1.1. Образование шпоночного паза
(а) дисковой фрезой; (б) шпоночной фрезой

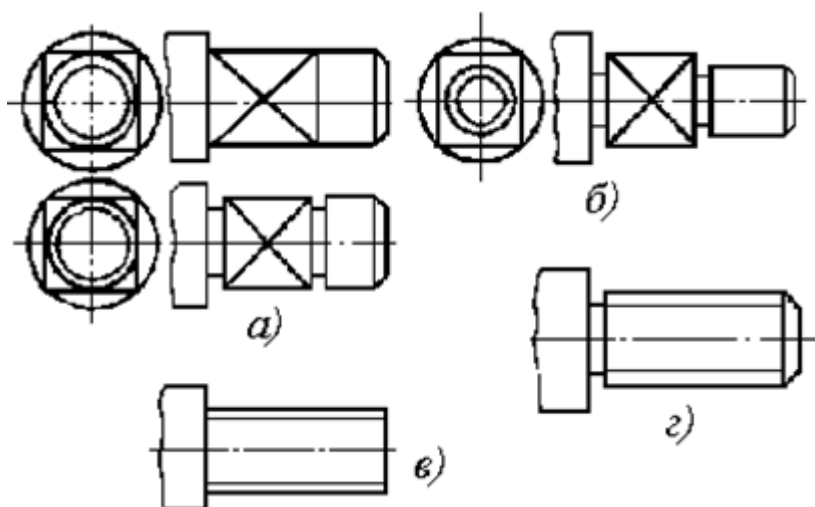


Рисунок – 1.2. Примеры конструктивного исполнения деталей
нетехнологичные конструкции (а, в); технологичные конструкции (б, г)

Требования к технологичности деталей особенно повышаются в условиях автоматизированного производства, когда работа ведется на станках с ЧПУ. Это связано с выполнением задач программирования, решение которых требует упрощения геометрических образов и унификации повторяющихся геометрических элементов [15; 29].

При определении номенклатуры деталей, рекомендуемых для обработки на станках с ЧПУ, необходимо учитывать целый комплекс критериев технологичности, условно разделяемых на две группы. Первая группа определяет общие

требования к детали. Во вторую входят критерии технологичности обрабатываемой поверхности. Важнейшими являются следующие требования [15]: обоснованный выбор материала детали и увязка требований качества поверхностного слоя с маркой материала; обеспечение достаточной жёсткости конструкции; наличие или создание искусственных технологических баз, используемых при обработке; сокращение до минимума числа установов заготовки при ее обработке; наличие элементов заготовки, обеспечивающих ее надежное закрепление в приспособлении; возможность обработки максимального числа поверхностей с одного установа заготовки при консольном закреплении инструмента; отсутствие или сведение к минимуму числа глухих отверстий, расположенных не под прямым углом к основным координатным осям детали; максимальная возможная унификация формы и размеров обрабатываемых элементов, что обеспечит обработку их минимальным числом инструментов и использование типовых подпрограмм; задание координат обрабатываемых элементов с учетом возможностей устройства ЧПУ; форма детали, удобная для автоматического контроля и обеспечения условия легкого удаления стружки; колебание твердости поверхностного слоя заготовки в небольших пределах для сокращения времени подбора инструментов по стойкости и снижения затрат на их замену.

Таким образом, при анализе технологичности деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ, для обеспечения высокой надежности технологической системы необходимо учитывать требования обработки, контроля, захвата и транспортирования деталей при их изготовлении, надежного удаления стружки, максимального упрощения программирования, обеспечения благоприятных условий работы режущего инструмента.

Следует отметить, что требования к технологичности конструкций деталей являются желаемыми. Если эти требования вступают в противоречие с эксплуатационными требованиями, то от них приходится отказываться. Профессиональное мастерство и искусство конструктора заключается в том, чтобы при конструировании изделий он смог обеспечить заданные эксплуатационные характеристики машины при одновременном соблюдении требований прогрессивной технологии изготовления деталей.

Примеры повышения технологичности деталей, изготавливаемых на станках с ЧПУ, приведены в справочниках [5; 49].

1.3 Выбор технологических баз

Важнейшим этапом проектирования технологических процессов изготовления деталей является выбор технологических баз. От правильности их выбора в значительной степени зависят: точность выполнения размеров; правильность

взаимного расположения обрабатываемых поверхностей; степень сложности и конструкция установочно-зажимных приспособлений, режущих и измерительных инструментов; общая трудоёмкость обработки заготовок. В автоматизированном производстве значение правильного выбора технологических баз ещё больше возрастает, так как обработка основывается на принципе автоматического получения размеров, в котором технологическая база является одним из составляющих элементов.

В связи с этим вопрос о выборе технологических баз решается технологом в самом начале проектирования технологического процесса механической обработки деталей, при разработке маршрутной технологии. При этом назначение технологических баз начинается с выбора комплекта постоянных баз, которые должны быть подготовлены на первой операции. В качестве первоначальных (черновых) технологических баз следует выбирать поверхности, относительно которых на первой или первых операциях могут быть обработаны поверхности, используемые при дальнейшей механической обработке как постоянные (чистовые) технологические базы.

В качестве черновых баз обычно используют необработанные поверхности, имеющие достаточно большую площадь, наименьшую шероховатость и правильную геометрическую форму. Это обеспечивает равномерное распределение припусков, более жесткое закрепление заготовок в приспособлениях и возможность уменьшения припусков на обработку.

После выполнения первой операции устанавливаются технологические базы для последующей обработки заготовки. Такими базами являются ранее обработанные поверхности. Технологические базы должны обеспечить обработку всех поверхностей детали, гарантируя при этом соблюдение технических требований по точности обработки и качеству поверхностного слоя материала. Они должны также обеспечить надежное жесткое закрепление заготовки.

Поверхности, используемые в качестве технологических баз, в процессе изготовления детали выбирают, исходя из принципов совмещения (единства) и постоянства баз.

Принцип совмещения баз заключается в том, что в качестве технологических и измерительных баз принимают поверхности, которые являются конструкторскими. Если технологическая база не совпадает с конструкторской, технолог вынужден производить замену размеров, проставленных в рабочих чертежах от конструкторских и измерительных баз, более удобными для обработки технологическими размерами, проставленными непосредственно от технологических баз. При этом происходит удлинение соответствующих размерных цепей заготовки, что в конечном счете приводит к ужесточению допусков на размеры, выдерживаемые при обработке заготовок, снижению производительности про-

цесса изготовления деталей и повышению себестоимости продукции. При несовпадении технологической и измерительной баз (работа на настроенном оборудовании) возникает погрешность базирования, которая существенно влияет на точность обработки. Конкретные значения величины погрешности базирования при различных схемах установки заготовки в приспособлениях могут быть определены по формулам, приведённым в технической литературе [43; 49].

Принцип постоянства баз заключается в том, что при проектировании технологического процесса механической обработки необходимо стремиться к использованию одних и тех же технологических баз, не допуская без особой необходимости их смену (не считая смены черновой базы). Осуществление этого принципа снижает погрешности размеров и взаимного расположения обрабатываемых поверхностей [27]. Стремление к реализации принципа постоянства баз объясняется тем, что каждая смена баз сопровождается возникновением погрешностей установки заготовки. Данный принцип в идеальном случае соблюдается тогда, когда обработка всех поверхностей заготовки производится при одном установе с первоначальных баз.

Однако в большинстве случаев обработка заготовок производится за несколько операций. Поэтому в начале технологического процесса создают надёжные технологические базы, которые используют на последующих операциях. В тех случаях, когда нельзя в полной мере реализовать принцип постоянства баз, в качестве новых технологических баз следует принимать такие поверхности, которые связаны с базами, установленными после выполнения первой операции, с высокими точностными параметрами [31].

В качестве черновых баз при обработке деталей типа круглых стержней принимают необработанные наружные цилиндрические поверхности и один из торцев. Чистовыми базами являются преимущественно конусные центровые отверстия, на которых выполняется черновая и чистовая обработка большинства поверхностей, а также доводка наиболее точных цилиндрических шеек и торцев. При фрезеровании, протягивании, сверлении и некоторых других операциях обработки фасонных поверхностей с большими изгибающими усилиями резания в качестве баз используют обработанные цилиндрические шейки, а также торец вала или одной из его ступеней.

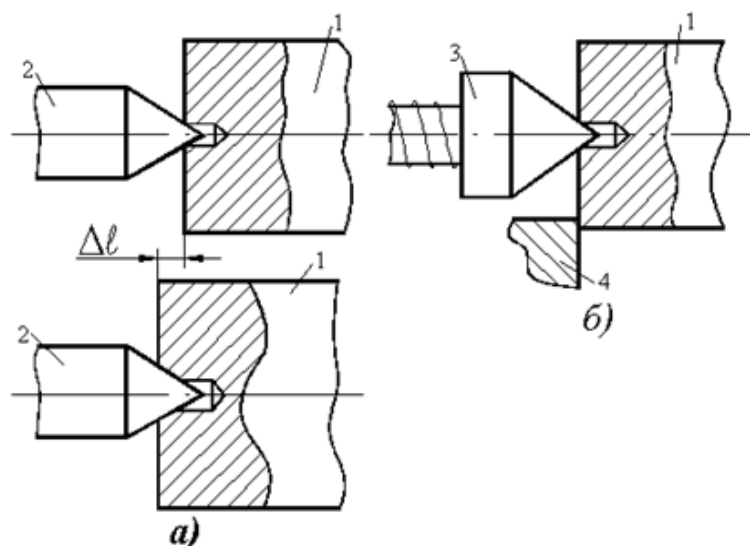


Рисунок 1.3 – Осевое фиксирование заготовки
за счет точного выполнения центровых отверстий (а);
за счет плавающего переднего центра и жесткого упора (б)

При обработке валов и осей в центрах осевое фиксирование заготовки (1) обеспечивают либо за счет точного выполнения центровых отверстий с установкой заготовки на стандартный жесткий передний центр (2), либо за счет использования плавающего переднего центра (3) и жесткого упора (4) (рисунок 1.3).

Более надежным следует считать осевое фиксирование заготовки по точным центровым отверстиям, так как плавающий подпружиненный центр не обеспечивает должной жесткости крепления. Вместе с тем точность осевого фиксирования заготовки выше при использовании жесткого упора и плавающего центра. Поэтому первую схему (рисунок 3.1 а) можно рекомендовать для чернового и получистового точения, а вторую (рисунок 3.1 б) – для чистовой и отделочной обработки, а также в тех случаях, когда необходимо обеспечить высокую точность размеров в осевом направлении, например, при обработке на станках с ЧПУ. Обработка наружных поверхностей вращения производится при достаточно высоких скоростях резания, что в сочетании с большими нагрузками создаёт неблагоприятные условия для работы заднего центра, поджимающего обрабатываемую заготовку к переднему центру или жёсткому упору. Неподвижный задний центр не выдерживает высоких скоростей, оплавляется, нагревает часть заготовки и приводит к значительной бесполезной работе трения. Для устранения этих недостатков используют вращающийся задний центр. Следует отметить, что современные конструкции вращающихся пневматических или гидравлических центров, обеспечивая необходимую точность обработки, значительно уменьшают износ центров.

В ряде случаев при обработке возникает необходимость обеспечить строго определенное угловое положение заготовки. Для этой цели в качестве дополни-

тельной базы могут быть использованы одно из отверстий на торце детали, шпоночный паз, впадина зубчатого венца или шлицевой поверхности.

При обработке нежестких деталей для предотвращения прогиба оси применяют дополнительные установочные базы – обработанные шейки или специальные выточки, устанавливаемые в люнеты.

Вращение заготовки, обрабатываемой в центрах, обеспечивается хомутиками или поводковыми самоцентрирующими патронами. При работе с хомутиками из-за того, что усилие, действующее на вал, переменное по направлению, образуется погрешность формы. Кроме того, трудоемкость надевания и съема хомутика достаточно велика, что отрицательно сказывается на производительности операции. Учитывая изложенные обстоятельства, более совершенными следует считать самоцентрирующие поводковые патроны. Недостатком хомутиков и поводковых патронов является невозможность полностью обработать наружную поверхность детали без ее переустановки. Применение рифленого центра позволяет исключить использование поводковых устройств и обеспечить полную обработку вала за один установ. Однако установка на рифленый центр не обеспечивает высокой точности, передает небольшой крутящий момент, вследствие чего имеет ограниченное применение. Более рациональным для этой цели является применение специальных торцевых поводковых центров [49; 54].

При обработке длинных нежестких деталей большим количеством инструментов одновременно возможно значительное скручивание обрабатываемой заготовки, которое может привести к неточной обработке и вибрации. Для предотвращения этих явлений применяют станки с центральным или двухсторонним приводами. Подобная схема используется при обработке коленчатых валов [8].

1.4 Основы проектирования технологических процессов механической обработки заготовок

1.4.1 Принципы проектирования

При проектировании технологических процессов механической обработки заготовок придерживаются одного из двух принципов: концентрации или дифференциации операций. В первом случае в одну операцию включается как можно больший объем обработки; используются станки, требующие сложной настройки, оснащенные большим числом инструментов.

В единичном, мелко- и среднесерийном производствах концентрация операций осуществляется на станках универсального типа (токарных, токарно-револьверных, фрезерных, сверлильных, расточных, многоцелевых и других с ручным и числовым программным управлением) последовательной обработкой

ряда поверхностей изготавливаемой детали. Поэтому такую организацию работы называют последовательной концентрацией.

В массовом, крупносерийном и в ряде случаев среднесерийном производствах концентрация операций осуществляется на многопозиционных, многошпиндельных, многоинструментных полуавтоматах и автоматах, специальных и агрегатных станках, позволяющих выполнять одновременно целый ряд переходов. Такую концентрацию операций называют параллельной.

Применение принципа концентрации операций позволяет производить большой объем работ и осуществлять выпуск значительного количества продукции при использовании малых производственных площадей и при небольшом количестве рабочих. Кроме того, использование данного принципа существенно сокращает трудоемкость изготовления изделий. Однако настройка станков и управление ими при этом усложняются. Появляется потребность в высококвалифицированных наладчиках и хорошо организованном инструментальном хозяйстве. Следует иметь в виду, что при одновременной работе несколькими режущими инструментами возможно появление деформаций заготовки, что сказывается на точности изготовления детали.

При использовании принципа дифференциации операции содержат простые и легко выполнимые работы с небольшим количеством технологических переходов.

Основным преимуществом принципа дифференциации технологического процесса является простота настройки оборудования, вследствие чего не требуется больших затрат времени и средств при смене объектов производства.

К недостаткам данного принципа можно отнести большое количество операций, требующее многократной установки и снятия заготовки в процессе ее обработки. Это приводит к появлению погрешностей установки, увеличению вспомогательного времени, а следовательно, и всего производственного цикла; к увеличению числа станочных приспособлений, удлинению периода технологической подготовки производства. Из-за большого количества станков возникает потребность в значительных производственных площадях.

Выбор того или иного принципа построения технологического процесса механической обработки в общем случае зависит от типа производства, характера изготавливаемых деталей, используемого оборудования и других факторов.

1.4.2 Составление технологического маршрута

Технологический маршрут изготовления детали определяет наиболее рациональную последовательность выполнения операций механической обработки. Структура и содержание технологического процесса изготовления детали за-

висят от ее конструктивного исполнения, геометрической формы, размеров, массы, характера производства, предъявляемых технических требований и вида заготовки.

Известно, что все детали машиностроительных изделий образуются сочетанием различных поверхностей, которые согласно ГОСТ 21495-76 могут быть разделены на четыре вида: а) исполнительные поверхности – поверхности, при помощи которых деталь выполняет свое служебное назначение; б) основные базы – поверхности, при помощи которых определяется положение данной детали в изделии; в) вспомогательные базы – поверхности, при помощи которых определяется положение присоединяемых деталей относительно данной; г) свободные поверхности – поверхности, не соприкасающиеся с поверхностями других деталей.

Поверхности первых трех видов можно отнести к группе основных. Обеспечение заданной точности и качества поверхностей основной группы с наименьшими затратами труда является главной задачей при разработке технологического процесса изготовления любых деталей.

При установлении последовательности обработки заготовки необходимо учитывать следующие рекомендации [3; 9; 30]:

1 Каждая последующая операция или технологический переход должны уменьшать погрешности и улучшать качество поверхности. Точность на каждом последующем переходе обычно повышается: на черновых переходах – на один – три квалитета, на чистовых – на один-три квалитета.

2 В первую очередь следует обрабатывать поверхности, которые будут служить технологическими базами при выполнении последующих операций. После этого следует обрабатывать поверхности, с которых снимается наибольший слой металла.

3 Операции, при которых возможно появление брака из-за внутренних дефектов в заготовке, необходимо производить на ранних стадиях ее обработки.

4 Технологический процесс изготовления детали заканчивается отделочной обработкой тех поверхностей, которые являются наиболее точными и имеют наиболее важное значение для эксплуатации детали, а следовательно, и для изделия.

5 Обработку поверхностей с точным взаимным расположением следует по возможности включать в одну операцию и выполнять за один установ.

6 Предпочтительным является технологический процесс с максимальной концентрацией переходов как наиболее производительный. Для этой цели в единичном и мелкосерийном производстве используются станки с ЧПУ, в среднесерийном – полуавтоматы и агрегатные станки, а в крупносерийном и массовом производстве – автоматы и автоматические линии.

7 При определении последовательности выполнения черновых и чистовых переходов следует учитывать, что совмещение их в одной операции возможно только на станках повышенной жесткости, например на станках с ЧПУ или многошпиндельных полуавтоматах.

8 Если деталь подвергается термической обработке по ходу технологического процесса, то механическая обработка расчленяется на две части: до термической обработки и после нее. Перенос механических операций из одной части в другую не рекомендуется.

9 Технологический контроль намечают после тех этапов обработки, где наиболее вероятно появление брака; перед сложными и дорогостоящими операциями; после законченного цикла; в конце обработки.

Приведенные рекомендации по разработке маршрутной технологии не являются строго обязательными и требуют творческого подхода в каждом конкретном случае. Для облегчения составления маршрутных технологических процессов изготовления деталей различной конфигурации можно использовать типовые схемы обработки, а также данные по точности размеров и шероховатости поверхностного слоя при обработке наружных поверхностей деталей – тел вращения различными методами (таблица 1.1) [13].

Таблица 1.1 – Точность и качество поверхности при обработке наружных цилиндрических и торцевых поверхностей

Метод обработки	Квалитет	Параметр шероховатости поверхности, Ra, мкм
1	2	3
Точение цилиндрических поверхностей: черновое	14-12	50-6,3
Получистовое	12-10	25-1,6
чистовое	10-8	6,3-0,4
тонкое	8-6	1,6-0,2
Точение торцевых поверхностей: черновое	13-12	32-6,4
чистовое	11-9	6,4-1,6
тонкое	8-6	1,6-0,2

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3
Шлифование: предварительное	9-8	6,3-0,4
чистовое	7-6	3,2-0,2
тонкое	6-5	1,6-0,1
Суперфиниширование	6-4	0,25-0,032
полирование	6-5	0,08-0,008
притирка	6-4	0,10-0,01
Обкатывание: черновое	10-8	2,5-0,8
чистовое	7-5	1,0-0,05
Выглаживание	9-5	2,0-0,05
Вибронакатывание	9-5	1,6-0,063
Электромеханическая	7-5	1,6-0,02
Магнито-образивная	9-5	1,6-0,02

Примечание: приведенные данные относятся к деталям из стали. Для деталей из чугунов или цветных сплавов допуски на размеры можно принимать на один квалитет точнее, а параметры шероховатости – в 1,5 раза больше табличных.

Так как изготовление деталей типа валов производится главным образом при их установке в центрах, то для штучных заготовок (штамповок, отливок, нарезанных из круглого и трубного проката) можно рекомендовать следующую последовательность обработки [8; 35; 56]:

- 1 Подрезка торцев и создание конусных центровых отверстий.
- 2 Черновая токарная обработка первой, а затем и второй половины детали.
- 3 Сверление и черновое растачивание центрального отверстия (для полых валов).
- 4 Чистовая токарная обработка первой, а затем и второй половины детали.
- 5 Черновое шлифование отдельных шеек, деталей, служащих технологическими базами при фрезеровании, протягивании фасонных поверхностей, при токарной обработке эксцентрично расположенных шеек, при растачивании отверстия на одном из концов детали и т.д.
- 6 Правка стержня при обработке удлиненных деталей, у которых длина (l) равна или больше десяти диаметров, а диаметр (d) менее 100 мм.
- 7 Черновая и чистовая обработка фасонных поверхностей: нарезание зубьев, шлицев, фрезерование кулачков и т.д.; чистовое растачивание сквозных и глухих отверстий; токарная обработка эксцентричных шеек и др.
- 8 Выполнение операций по обработке второстепенных поверхностей:

сверление, развертывание мелких отверстий, нарезание в них резьбы; нарезание резьбы на шейках; фрезерование шпоночных канавок, лысок, прорезей и т.д.

9 Правка деталей с параметрами: $l > 10d$, $d < 100$ мм.

10 Термическая обработка всей детали или закалка отдельных поверхностей токами высокой частоты, если это оговаривается условиями рабочего чертежа.

11 Правка деталей, у которых $l > 6d$, а $d < 100$ мм.

12 Черновое и чистовое шлифование внутренних и наружных цилиндрических и конических поверхностей.

13 Чистовое шлифование фасонных наружных поверхностей.

14 Правка удлиненных деталей с параметрами: $l > 10d$, а $d < 100$ мм.

15 Доводка особо точных поверхностей.

Анализируя приведенную типовую схему обработки, можно дополнительно отметить, что:

- Современное высокопроизводительное оборудование (многошпиндельные автоматы и полуавтоматы, станки с ЧПУ) позволяет совмещать черновую и чистовую токарную обработку в одной операции.

- При разработке маршрутного процесса необходимо стремиться к обеспечению полной обработки детали при минимальном числе ее установов. Этому условию в полной мере удовлетворяют станки с ЧПУ и особенно токарные многоцелевые станки, позволяющие совместить на одном установе токарную обработку, фрезерование пазов и лысок, а также сверление мелких отверстий с осями, параллельными или перпендикулярными оси заготовки.

- Типовая схема обработки охватывает изготовление деталей типа валов самой разной конфигурации и размеров. При составлении маршрутного технологического процесса изготовления конкретной детали отдельные пункты типовой схемы могут быть пропущены.

- Изготовление деталей из проката производится в аналогичном порядке, за исключением начальной стадии.

1.5 Технология обработки основных поверхностей

1.5.1 Подрезание и центрование торцев

Подрезание торцев и создание конусных центровых отверстий являются первыми технологическими переходами (операциями) изготовления валов, на которых подготавливаются технологические базы для последующей обработки. Форма и размеры центровых отверстий для валов с различным диаметром регламентируются ГОСТ 14034-74.

В единичном и мелкосерийном производствах обработку торцев и центровых отверстий выполняют в основном на универсальных токарных станках за два установка. Достаточно широко используется раздельное фрезерование торцев и сверление центровых отверстий. Эти операции выполняются на горизонтально-фрезерных, вертикально- и радиально-сверлильных станках.

В серийном производстве чаще всего подготовку баз ведут на двухпозиционных фрезерно-центровальных полуавтоматах моделей МР-71 и МР-73 (рисунок 1.4).

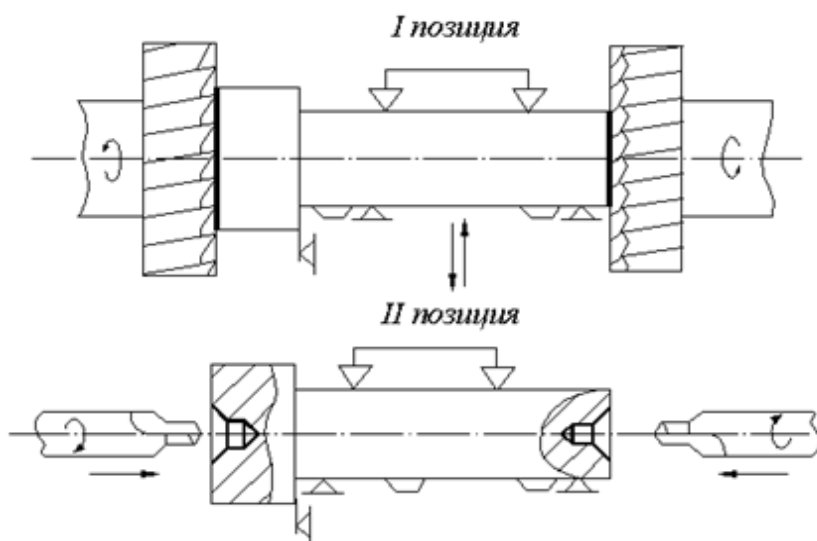


Рисунок 1.4 – Схема обработки заготовки на фрезерно-центровальном станке

Штучные заготовки базируют по наружной цилиндрической поверхности в приспособлениях с установочными призмами. На первой позиции одновременно фрезеруются оба торца заготовки. На второй производится одновременное сверление центровых отверстий. Осевое фиксирование обрабатываемой детали осуществляется по торцу одной из ступеней. При обработке гладкого вала осевое базирование производится по одному из торцев заготовки при помощи откидывающегося упора. Использование фрезерно-центровальных полуавтоматов обеспечивает высокую стабильность заготовок по длине, что очень важно при последующей обработке их на автоматическом оборудовании.

Прогрессивным методом является одновременная обработка торцев и центровых отверстий специальными головками на двухсторонних фрезерно-центровально-обточных полуавтоматах (2Г942, 2Г943 и др.). Преимуществами данного метода являются высокая производительность, точность взаимного расположения поверхностей, возможность с этого же установка обработать крайние шейки вала и центральные отверстия, если необходимо, с нарезанием резьбы. Использование специальных головок дает возможность производить

токарную обработку на одном станке без переустанова, так как наружная поверхность крайних шеек уже обработана [41; 42].

В крупносерийном и массовом производствах для фрезерования торцев и центрования применяют фрезерно-центровальные станки барабанного типа моделей МР-77 и МР-78, двухсторонние торцефрезерные и центровальные автоматы, которые можно встраивать в автоматические линии.

На фрезерно-центровальных, центровально-подрезных, центровальных, фрезерно-центровально-обточных станках для установки заготовок рекомендуется использовать тиски с самоцентрирующими губками призматической формы, которые обеспечивают постоянство положения центровых отверстий независимо от диаметра устанавливаемого вала, способствуя повышению точности обработки.

1.5.2 Токарная обработка

В зависимости от объема выпуска деталей токарная обработка валов и осей может производиться на следующем оборудовании: токарно-винторезных и токарно-револьверных станках, токарных станках, оснащенных гидрокопировальными суппортами, многорезцовых и гидрокопировальных полуавтоматах, горизонтальных и вертикальных одно- и многошпиндельных автоматах и полуавтоматах, станках с программным управлением. В таблице 1.2 приведены данные, характеризующие точность и шероховатость при наружном точении деталей типа тел вращения на различном токарном оборудовании [28; 31; 49].

При небольшом годовом выпуске валы обрабатывают на универсальных станках с ручным управлением моделей 16Т02А, 16У04П, 16Б05П, 1М63, 16К20, 16Б16П, 1А616 и др. Использование станков с универсальными гидро-суппортами позволяет сократить вспомогательное время в 2-3 раза по сравнению с использованием обычных токарных станков с ручным управлением. Малое подготовительно-заключительное время позволяет использовать гидрокопировальные суппорты при партии в 3-4 заготовки. Точность обработки с помощью копировальных устройств обеспечивается за несколько рабочих ходов по 8-9-му квалитетам [42]. При использовании указанных станков в мелкосерийном производстве рационально применять групповую обработку, т.е. обработку с минимальной переналадкой валов нескольких наименований, отличающихся размерами в пределах группы.

Таблица 1.2 – Показатели качества обработки при точении наружных поверхностей

Оборудование (станки)	Вид обработки	Параметр шероховатости поверхности Ra, мкм	Квалитет допуска диаметральных размеров	Точность линейных размеров, мм			
				До 80	80-260	260-500	св.500
1	2	3	4	5	6	7	8
Токарно-винторезные нормальной точности	Черновая	25-12,5	12-14	0,30	0,40	0,50	0,70
	Чистовая	6,3-2,5	9-10	0,12	0,20	0,25	0,30
Токарно-винторезные высокой точности	Чистовая	6,3-1,25	8-9	0,08	0,10	0,12	0,15
	Тонкая	1,6-0,63	7-8	0,04 6	0,054	0,084	0,10
Токарные с ЧПУ, включая многоцелевые	Черновая	25-6,3	11-12	0,20	0,25	0,30	0,40
	Чистовая	12,5-3,2	7-9	0,12	0,17	0,20	0,25
	Тонкая	2,5-0,4	6-7	0,07	0,10	0,12	0,18
Токарно-револьверные	Черновая	25-12,5	12-13	0,25	0,30	0,35	0,40
	Чистовая	6,3-2,5	9-10	0,15	0,20	0,25	0,30
Токарные много-резцовые полуавтоматы	Черновая	25-12,5	12-14	0,25	0,30	0,35	0,40
	Чистовая	6,3-2,5	10-11	0,15	0,20	0,25	0,30
Токарные гидрокопировальные полуавтоматы	Черновая	25-12,5	12-13	0,20	0,25	0,30	0,35
	Чистовая	6,3-2,5	8-10	0,12	0,17	0,20	0,25
Горизонтальные одношпидельные автоматы фасонно-продольного точения	Черновая	6,3-3,2	9-10	0,12	0,17		
	Чистовая	1,25-0,4	6-8	0,08	0,10		

Продолжение таблицы 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8
Токарно-револьверные автоматы	Черновая	6,3-3,2	10-11	0,12	0,17		
	Чистовая	2,5-0,63	8-9	0,08	0,10		
Горизонтальные многошпиндельные автоматы и полуавтоматы	Черновая	25-6,3	10-11	0,12	0,17		
	Чистовая	3,2-0,63	7-8	0,08	0,10		
Вертикальные многошпиндельные полуавтоматы	Черновая	25-3,2	12-14	0,17	0,20	0,25	0,30
	Чистовая	6,3-0,63	9-10	0,12	0,15	0,20	0,25
	Тонкая	3,2-0,4	7-8	0,08	0,10	0,12	0,15

На токарно-револьверных станках и полуавтоматах, благодаря совмещению в одной операции нескольких переходов и применению многоинструментных наладок, осуществляют разнообразную многопереходную обработку деталей вместо отдельного выполнения тех же переходов на токарных, сверлильных и других станках. На токарно-револьверных станках обрабатывают различные детали типа круглых стержней из пруткового материала или из отдельных штучных заготовок. Станки позволяют осуществлять такие виды обработки, как точение и растачивание, сверление, зенкерование, нарезание резьб плашками, метчиками, самораскрывающимися резьбонарезными головками и устройствами. Характерной особенностью токарно-револьверных станков является наличие револьверной головки, в которой размещается режущий инструмент.

Различают токарно-револьверные станки с вертикальной и горизонтальной осями вращения револьверной головки. При использовании револьверных станков обычно совмещают черновые переходы: точение и сверление, точение и растачивание, подрезание торцев и снятие фаски и т.п. Не рекомендуется производить одновременно черновую и чистовую обработки: сверление и развертывание, грубое точение и чистовое растачивание, так как в этом случае возникающие при черновой обработке вибрации оказывают влияние на точность чистовой обработки. Кроме того, режимы резания на черновых и чистовых переходах несовместимы.

В настоящее время наибольшее распространение в серийном производстве получили токарно-револьверные станки и полуавтоматы следующих моделей: 1Е316П, 1Н325, 1Г340П. 1365, 1371 и др. Примеры наладок револьверных станков на обработку различных деталей приведены в справочнике [49]. В серийном и особенно крупносерийном производстве при изготовлении валов широко применяют многорезцовые и гидрокопировальные полуавтоматы. Токар-

ные многорезцовые станки рассчитаны (так же как и револьверные) на повышение производительности труда путем совмещения технологических переходов и автоматического получения операционных размеров. На многорезцовых станках число резцов в наладке лимитируется жесткостью обрабатываемых заготовок, мощностью станка и сложностью конструкций резцедержателей. Станки обычно имеют два суппорта: передний - с продольным рабочим движением и задний – с поперечным рабочим движением. Задний суппорт предназначен для подрезки торцев, прорезки канавок, снятия фасок, точения коротких цилиндрических и фасонных поверхностей.

Различают три типовых схемы обработки на многорезцовых станках. При обработке по первой схеме (рисунок 1.5 а) каждую ступень вала точат одним резцом. Продольный ход суппорта зависит от длины наибольшей ступени, обрабатываемой резцом l . При наладке станка по наименьшей ступени l_3 (рисунок 1.5 б) ход суппорта равен длине l_3 . В этом случае для обработки других ступеней устанавливают несколько резцов, число которых зависит от соотношения длин ступеней l_1/l_3 и l_2/l_3 . Вторая схема производительнее, однако при точении ступени появляются уступы из-за неточности установки резцов на размер и различной интенсивности их изнашивания. Резцы настраивают по эталонной детали или вне станка, используя сменные блоки.

Если ступенчатый вал изготавливают из проката, то при точении ступеней с меньшими диаметрами получаются большие глубины резания. В этом случае обработку ведут по методу деления припуска (рисунок 1.5 в), который обеспечивает обработку ступени меньшего диаметра последовательно несколькими резцами 1, 2, 3. Суппорт перемещается на всю длину l обрабатываемых ступеней.

При обработке на многорезцовых полуавтоматах моделей 1А720, 1А730, 1А7230 резко сокращается основное время операции в результате параллельного выполнения нескольких технологических переходов, так как в штучное время входит лишь время наиболее длительного (лимитирующего) перехода вместо суммы времен. Однако сменная производительность возрастает не столь интенсивно, поскольку затраты времени на техническое обслуживание наладки с большим количеством резцов увеличиваются. Точностные возможности многорезцовой обработки снижаются из-за ряда неблагоприятных факторов: больших усилий, действующих от нескольких резцов, неодновременного вступления их в работу, неравномерного износа инструментов, обрабатывающих разные шейки, погрешности настройки резцов на размеры. Поэтому токарные многорезцовые полуавтоматы применяют предпочтительно для черновой и получистовой обработки жестких валов с большим числом ступеней, имеющих резкие перепады диаметров, с канавками и большими торцевыми поверхностями, при достаточно больших партиях обрабатываемых заготовок [9].

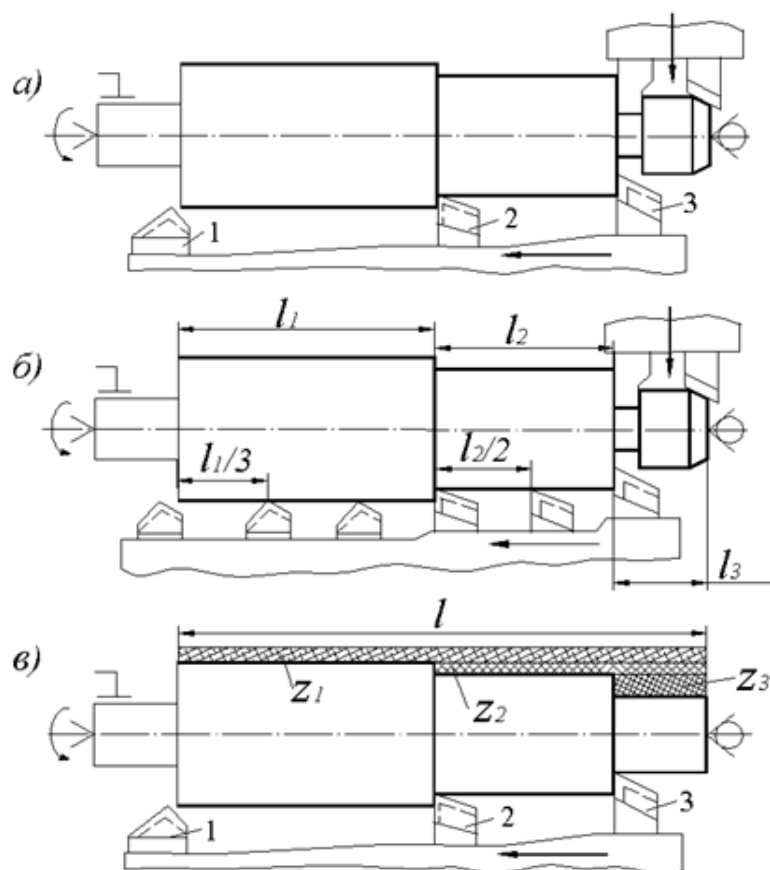


Рисунок 1.5 – Схемы точения ступенчатого вала на многолезцовом станке

Значительное распространение на заводах автомобиле- и тракторостроения получили одношпиндельные гидроконтролируемые полуавтоматы, которые позволяют с автоматическим циклом выполнять обработку наружных, внутренних и торцевых поверхностей деталей длиной до 2000 мм. Схема наладки копирующего полуавтомата для обработки ступенчатого вала показана на рисунке 1.6. Резец, установленный на продольном суппорте, обтачивает вал по копиру расположенному на барабане, а инструменты, закрепленные на поперечном суппорте, протачивают канавки. С поперечного суппорта можно выполнять и подрезку торцев.

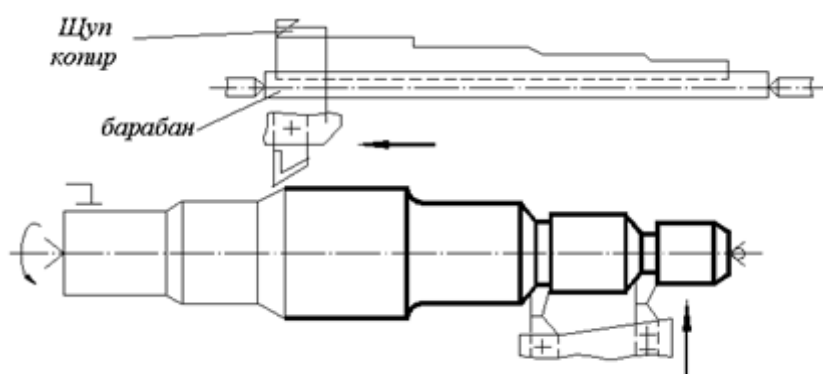


Рисунок 1.6 – Схема обработки ступенчатого вала на гидроконтролируемом полуавтомате

Обработка валов на этих станках имеет ряд преимуществ перед многорезцовым точением: время наладки в 2-3 раза меньше времени наладки многорезцового станка; при чистовом точении обеспечивается точность, соответствующая 9-му качеству вместо 11-го при многорезцовой обработке; упругие отжатия элементов технологической системы в незначительной степени влияют на точность обработки, так как в работе участвует только один резец; отсутствуют уступы, характерные для многорезцового точения одной ступени; обработка ведется на более высоких скоростях резания.

На гидрокопировальных полуавтоматах выполняют как черновую, так и чистовую обработку валов. Для обеспечения высокой точности обработки подрезной суппорт вступает в работу после окончания работы копировального. Точение на копировальных станках целесообразно для нежестких валов и для чистовой обработки валов с длинными шейками. При точении валов с числом ступеней более четырех эти станки эффективно работают при размере партии всего 10-15 штук [42].

На токарно-копировальных станках новейших моделей при одном установе можно вести черновую и чистовую обработку с использованием нескольких независимых копировальных и подрезных суппортов. При этом черновая обработка производится многорезцовым суппортом, а чистовое точение – односторонним копировальным суппортом. Современные токарные многорезцовые копировальные полуавтоматы имеют несколько (до пяти) копировальных суппортов, перемещающихся независимо друг от друга. Они позволяют вести обработку каждый на своем участке, что значительно повышает производительность станка [54].

Широкое распространение в машиностроении получили горизонтальные и вертикальные токарные гидрокопировальные полуавтоматы следующих моделей: 1712, 1713, 1Н713, 1Е713, 1719, 1722, 1725, 1734, 1Б732, КМ151, КМ162.

В крупносерийном и массовом производстве наружные цилиндрические поверхности заготовок типа тел вращения, и в частности валов и осей, в основном обрабатывают на автоматах и полуавтоматах.

Автоматы и полуавтоматы в зависимости от компоновки делятся на горизонтальные и вертикальные, а по числу шпинделей - на одношпиндельные и многошпиндельные. Горизонтальные одношпиндельные автоматы подразделяют на фасонно-отрезные, автоматы продольного точения и токарно-револьверные. Фасонно-отрезные автоматы (11Ф16, 11Ф25, 11Ф40) предназначены для обработки деталей из прутковых заготовок диаметром до 40 мм. На фасонно-отрезных автоматах ни пруток, ни шпиндельная бабка в процессе обработки продольного перемещения не имеют. Обработка ведется методом резания фасонными и отрезными резцами, установленными в резцовой вращаю-

щейся головке. На автоматах продольного точения (1103, 1М06В, 1М10А, 1Т16А, 1Д25В, 1М32В и др.) изготавливают детали из прутка диаметром до 30 мм и длиной до 100 мм. На станках этого типа шпиндельная бабка имеет продольное поступательное перемещение. Все суппорты расположены веерообразно вокруг обрабатываемого прутка и имеют только поперечное движение. На токарно-револьверных автоматах (1Д112, 1Е110П, 1Е125П, 1Е140 и др.) изготавливают детали сложной формы из прутков диаметром 10-63 мм. Наличие в токарно-револьверных автоматах трех-четырёх поперечных суппортов и продольного суппорта с шестипозиционной револьверной головкой, в которой размещаются державки со сверлами, зенкерами, развертками, резцами, резьбонарезными и другими инструментами, значительно расширяет их технологические возможности.

Многошпиндельные горизонтальные автоматы и полуавтоматы подразделяют на горизонтальные прутковые автоматы и патронные полуавтоматы. Токарные многошпиндельные прутковые автоматы (1Б240, 1Б265, 1Б290, 1Б216 и др.) предназначены для изготовления деталей из калиброванных прутков круглого, квадратного или шестигранного сечения диаметром 12-100 мм и длиной до 160 мм. На токарных многошпиндельных патронных полуавтоматах (1Б240П, 1Б265П, 1Б290П, 1Б225П и др.) обрабатывают штучные заготовки длиной до 200 мм и диаметром до 200 мм, в зависимости от модели станка.

Достаточно широкое распространение в автотракторостроении получили и многошпиндельные вертикальные полуавтоматы последовательного и параллельного действия. Станки моделей 1К282, 1283, 1Б284, 1286 применяются для обработки заготовок различных деталей типа тел вращения диаметром, до 630 мм. Они имеют шесть или восемь шпинделей. Заготовки устанавливаются в патронах, центрах или специальных приспособлениях.

Примеры наладок на токарные автоматы и полуавтоматы различных типов приведены в справочнике [49] и технической литературе [41; 56].

Повышение производительности обработки и гибкости средне- и мелкосерийного производства можно достичь за счет широкого применения станков с ЧПУ. Эти станки обеспечивают эффективное снятие стружки на черновых и чистовых переходах, допускают практически неограниченную концентрацию различных видов работ в одном установе. На станках с ЧПУ обеспечивается максимальная автоматизация процесса обработки при минимальном объеме ручных работ. Рабочие и вспомогательные движения режущего инструмента, изменение режимов резания, подача охлаждающей жидкости, смена режущих инструментов и т.п. выполняются автоматически. Для сокращения времени на переналадку и подналадку на некоторых станках возможна замена инструмента без прерывания автоматического цикла. Существенно сокращаются простои станка,

связанные с измерениями детали, за счет применения измерительных устройств и автоматического введения коррекции в процесс обработки.

Высокая концентрация обработки на станках с ЧПУ позволяет довести до минимума число установов заготовки, связанных с участием операторов. Заготовки достаточно большой жесткости необходимо обрабатывать за один-два станова.

При применении станков с ЧПУ необходимо более полно использовать технологические возможности этого оборудования. Наибольший эффект достигается при использовании станков с ЧПУ для решения наиболее сложных технологических задач, например, для обработки поверхностей криволинейного профиля, в случае высокой концентрации переходов обработки, исключения слесарных работ и сложных приспособлений. В этом случае уменьшается время обработки в 1,5-2 раза по сравнению со временем обработки на универсальных станках с ручным управлением, повышается качество поверхностного слоя, уменьшается вероятность получения бракованных деталей. Однако применение таких станков связано с увеличением трудоемкости подготовительных работ, необходимостью использования точных режущего и вспомогательного инструментов, увеличением затрат на эксплуатацию оборудования. Поэтому на станках с ЧПУ нецелесообразно обрабатывать детали с числом ступеней меньше трех и детали, время установки и выверки которых велико. Следует отметить, что стоимость станков с ЧПУ в несколько раз выше стоимости универсальных станков с ручным управлением, поэтому чем меньше потери на холостой ход, оптимальнее условия обработки, тем выше эффект от применения такого оборудования.

Резкое сокращение затрат по обработке изделий на станках с ЧПУ может быть достигнуто за счет широкого использования типовых технологических решений, проверенных в конкретных производственных условиях. В целях типизации операционной технологии все многообразие форм обрабатываемых поверхностей изделий может быть представлено в виде основных и дополнительных поверхностей [34]. Поверхности деталей, обработка которых на станке с ЧПУ может осуществляться проходными и расточными резцами, относят к основным, это торцевые, наружные и внутренние цилиндрические и конические поверхности, а также поверхности с криволинейной образующей и неглубокие (до 1,5 мм) канавки и выточки. Поверхности, для формообразования которых требуется режущий инструмент, отличный от перечисленного выше, считают дополнительными. К ним относят торцевые и угловые канавки для выхода шлифовального круга, прямоугольные канавки на наружной, внутренней и торцевой поверхностях, резьбовые поверхности, желоба под ремни и т.п. [9; 49].

На токарных станках с ЧПУ обработка заготовок осуществляется по следующей схеме [49]:

а) предварительная (черновая) обработка основных поверхностей детали: подрезка торцев, центрование перед сверлением отверстий диаметром до 20 мм, сверление, рассверливание отверстий, точение наружных поверхностей, а затем растачивание внутренних поверхностей;

б) обработка дополнительных поверхностей детали (кроме канавок для выхода шлифовального круга, резьбы и т.д.); в тех случаях, когда черновая и чистовая обработка внутренних поверхностей проводится одним резцом, все дополнительные поверхности обрабатывают после чистовой обработки;

в) окончательная (чистовая) обработка основных поверхностей детали, сначала внутренних, затем наружных;

г) обработка дополнительных поверхностей детали, не требующих черновой обработки, сначала в отверстиях или на торцах, затем на наружной поверхности.

При обработке заготовки в центрах переходы, связанные с подрезкой торца, центрованием, сверлением и растачиванием отверстий, исключаются.

Заготовки из поковок, выполненные свободной ковкой, как правило, предварительно обрабатывают на станках с ручным управлением с целью получения баз для последующего закрепления на станках с ЧПУ. Грубые поковки обрабатывают по контуру на станках с ручным управлением. Штамповки, выполненные способом горячего прессования, отличаются стабильностью форм и размеров, небольшими, а также стабильными припусками. Эти заготовки могут сразу обрабатываться на станках с ЧПУ. При обработке в центрах заготовки из проката или штамповок должны иметь заранее обработанные торцы и центровые отверстия с двух сторон.

Наибольшую известность для изготовления деталей типа валов получили станки моделей: 16К20Т1, 16К20Ф3, 1713Ф3, 1А734Ф3, 1Б732Ф3.

Выбор режущего инструмента определяется формой поверхностей детали, требованиями к точности и шероховатости поверхностей и припусками на обработку. Конфигурацию рабочей части инструментов выбирают так, чтобы, используя имеющиеся на станке перемещения, обеспечить обработку часто встречающихся форм поверхностей детали. При этом предпочтительно за счет более сложных движений станка иметь более простой контур рабочей части режущего инструмента.

Конкретные конструкции режущих и вспомогательных инструментов, используемых для обработки различных поверхностей детали на станках с ЧПУ, можно выбрать, используя справочники [21; 49] и техническую литературу [9; 11]. Пример выбора конструкции режущего инструмента для обработки различных элементов детали приведен на рисунке 1.7.

На токарных станках с ЧПУ в основном применяют резцы с механическим креплением многогранных неперетачиваемых твердосплавных пластин. В

ряде случаев используют и резцы с напаянными пластинами твердого сплава (отрезные, канавочные и расточные). Для ускорения настройки станков с программным управлением, более длительной, чем обычных станков, применяют оптические устройства, измерительные головки, контрольные оправки, центризаторы и другие виды технологической оснастки [18].

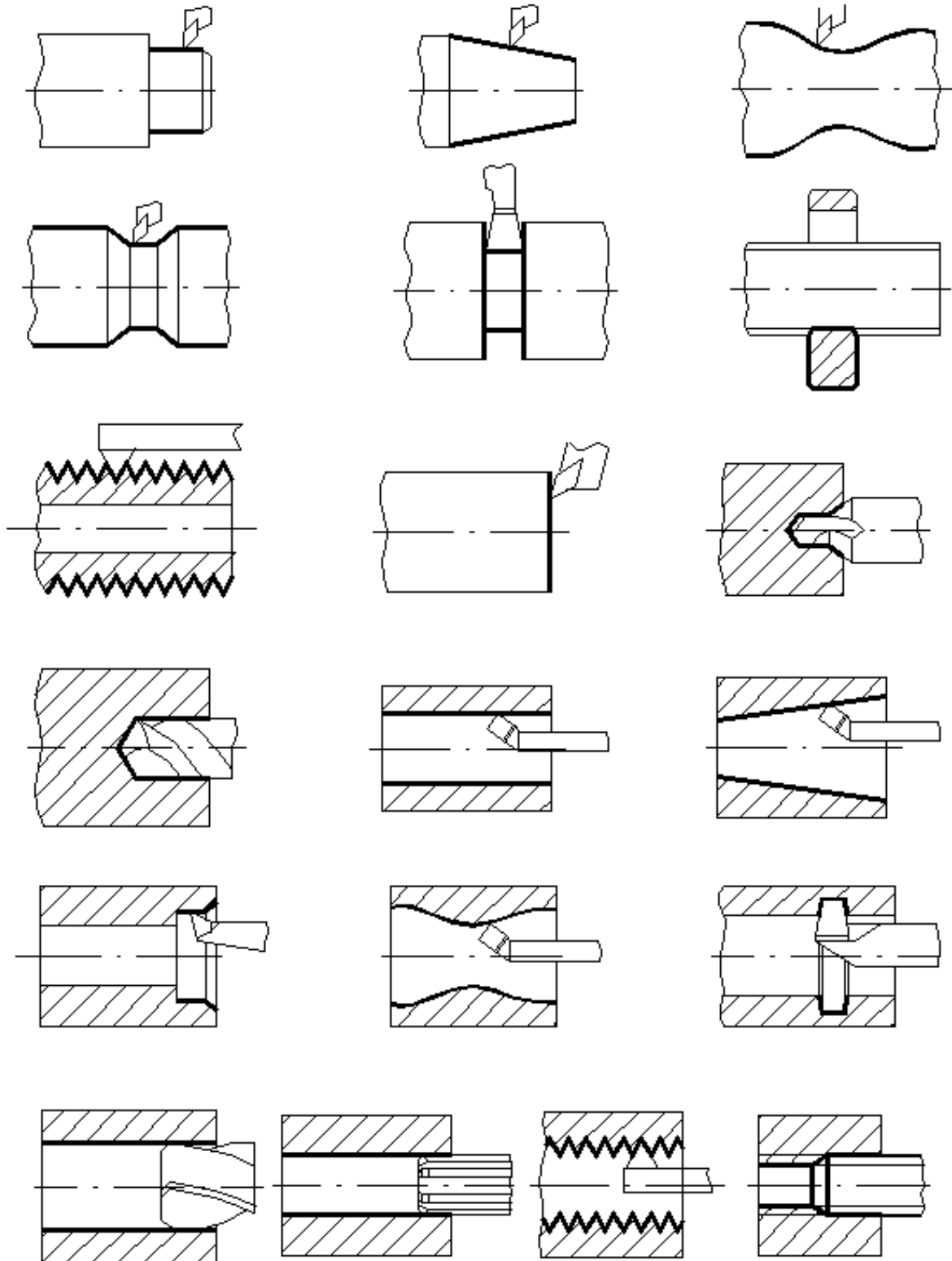


Рисунок 1.7 – Возможные схемы обработки различных элементов

Особенно широкими технологическими возможностями обладают токарные многоцелевые станки, которые дают возможность выполнять на одном рабочем месте с одного установка как обычные токарные переходы, так и обработку отверстий и поверхностей, расположенных под различными углами к оси заготовки, а также фрезеровать фасонные и плоские поверхности. Эффективность токарных многоцелевых станков (ТМС) повышается при расширении номенклатуры обрабатываемых заготовок, уменьшении их числа в поступающих на обработку партиях, частой сменяемости выпускаемых изделий при большом числе модификаций. Применение ТМС позволяет улучшить качество изготавливаемых деталей (точность размеров, шероховатость обрабатываемых поверхностей); сократить число разнотипного оборудования; уменьшить производственные площади; повысить коэффициент загрузки дорогостоящего оборудования; сократить расходы на выполнение контрольных операций и транспортные расходы; повысить ритмичность производства [14].

Расширенные технологические возможности ТМС обусловлены применением специальных револьверных головок и других конструкций держателей с вращающимся инструментом. Кроме того, шпиндель ТМС в нужный момент по программе может переключаться с режима вращения в режим дискретного позиционирования по углу поворота или в непрерывный следящий режим с обратной связью по угловому положению. Именно эти конструктивные особенности ТМС обеспечивают выполнение на данных станках, помимо токарной обработки невращающимися инструментами, обработку наружных и внутренних цилиндрических, конических, сферических и фасонных поверхностей с центральной осью, совпадающей с осью вращения заготовки, различных видов обработки, например: сверления, зенкерования, развертывания, растачивания отверстий, расположенных под различными углами наклона к оси заготовки. Кроме того, на токарных многоцелевых станках можно выполнять различные фрезерные работы. Примеры схем обработки различных элементов деталей, выполняемой на ТМС при использовании вращающихся инструментов, показаны на рисунке 1.8 [14; 49].

Сверление отверстий с осью, параллельной оси заготовки (рисунок 1.8 а), выполняется сверлом, закрепленным во вращающейся оправке, у которой ось вращения параллельна оси шпинделя. Позиционирование центра сверла в нужное положение осуществляется дискретным поворотом на заданный угол основного шпинделя (координата C) и поперечным смещением крестового суппорта по координатной оси X . Непосредственно сверление с заданной подачей выполняется перемещением вращающейся оправки вдоль координатной оси Z .

Сверление отверстий с осью, направленной перпендикулярно оси заготовки (рисунок 1.8 б), выполняется сверлом, закрепленным в угловой вращаю-

шейся оправке. Позиционирование центра сверла осуществляется дискретным поворотом на заданный угол основного шпинделя (координата C) и продольным смещением крестового суппорта по координатной оси Z. Заданная скорость подачи при сверлении обеспечивается перемещением вдоль оси X.

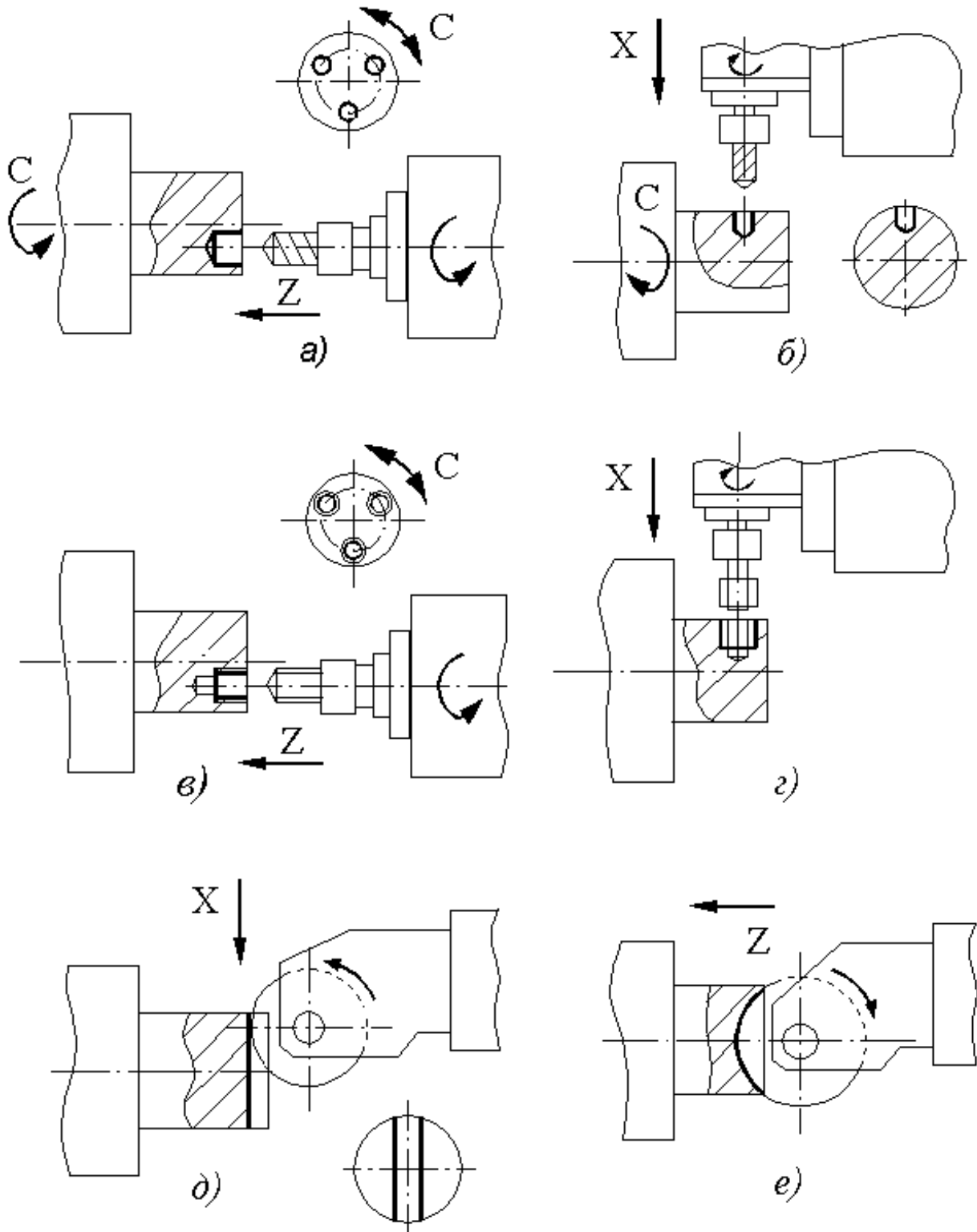
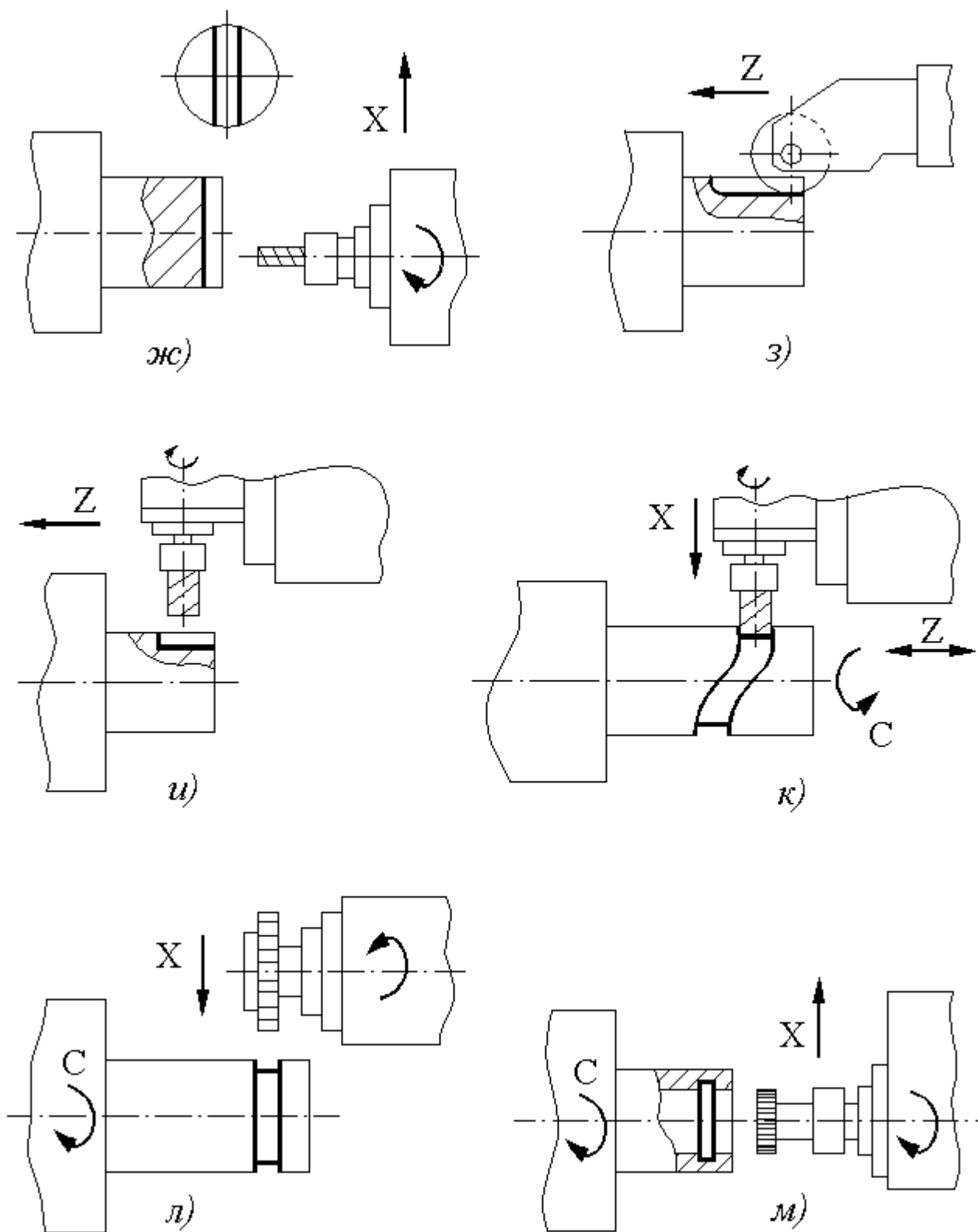
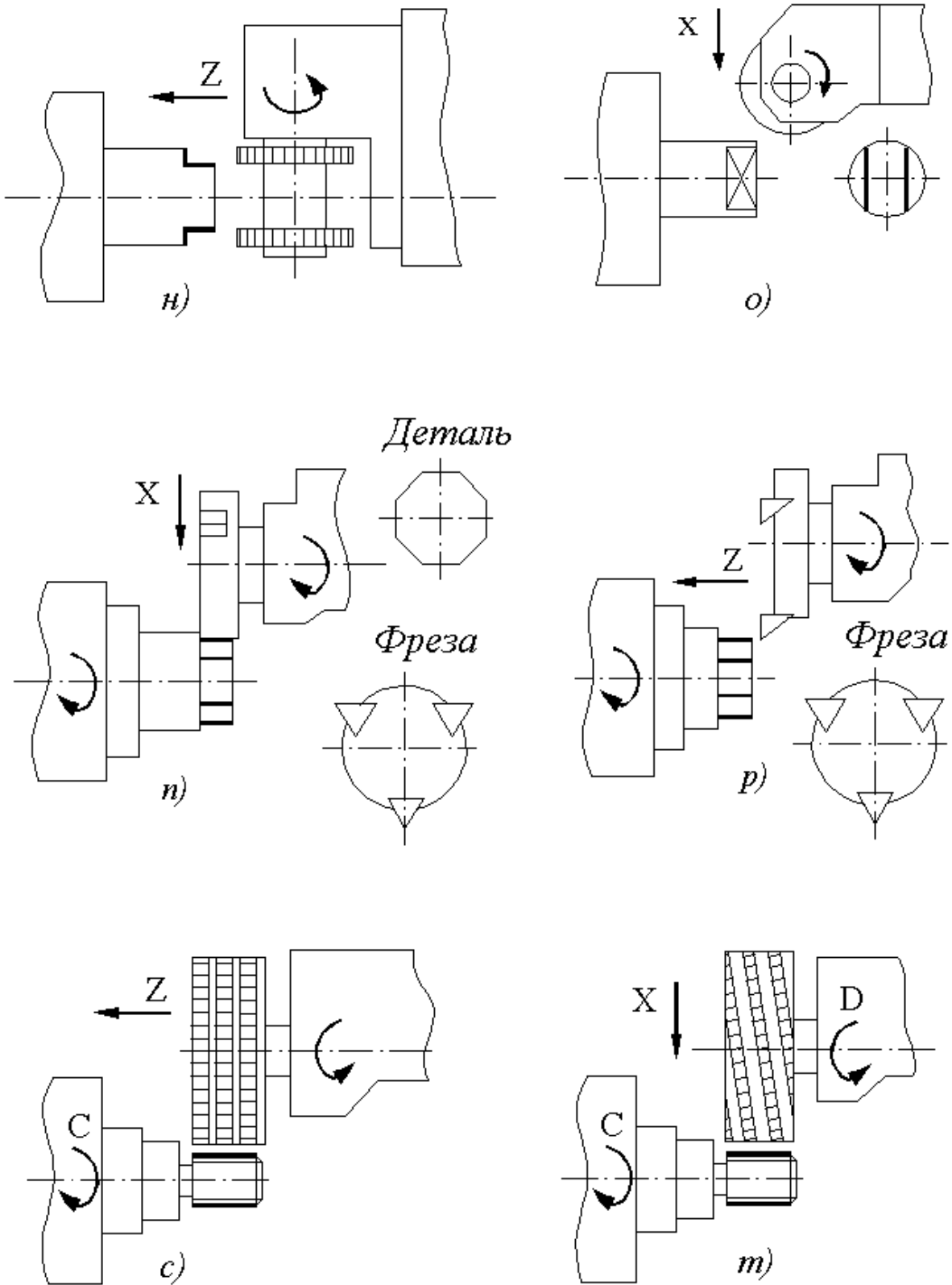


Рисунок 1.8 – Примеры схем обработки различных элементов деталей на односупортном токарном многоцелевом станке при использовании вращающихся инструментов



Продолжение рисунка 1.8



Продолжение рисунка 1.8

Аналогичным образом выполняются переходы по зенкерованию, развертыванию и растачиванию отверстий с осью, расположенной параллельно или

перпендикулярно оси заготовки.

Нарезание резьбы метчиком в таких отверстиях также выполняется по схеме, аналогичной схеме сверления. Однако в этом случае необходимо согласовать частоту вращения инструментальной оправки с линейным перемещением вдоль координатной оси Z при расположении отверстия вдоль оси заготовки (рисунок 1.8 в) или с перемещением вдоль координатной оси X при расположении отверстия перпендикулярно оси заготовки (рисунок 1.8 г).

Обработку пазов выполняют различными методами. Торцевые пазы можно фрезеровать дисковой фрезой, закрепленной в угловой оправке, по схеме с движением подачи вдоль координатной оси X (рисунок 1.8 д) или вдоль координатной оси Z (рисунок 1.8 е). В последнем случае диаметр фрезы должен быть достаточно большим, чтобы дно паза было плоским. Торцевые пазы можно также формировать концевой фрезой, закрепленной в оправке с осью вращения, параллельной оси заготовки (рисунок 1.8 ж).

Пазы, расположенные на наружной поверхности заготовки вдоль ее оси, могут быть обработаны дисковой фрезой (рисунок 1.8 з) с установкой на глубину фрезерования по оси X и с движением подачи вдоль оси Z . Аналогично выполняют прорезание шлицев. После завершения прорезки одного шлица и выхода дисковой фрезы из зоны резания основной шпиндель станка поворачивает заготовку по координате C на заданный угол для обработки следующего шлица.

Продольные пазы, в частности шпоночные, могут быть также обработаны концевой фрезой, закрепленной в угловой оправке с осью вращения фрезы, расположенной перпендикулярно оси заготовки (рисунок 1.8 и).

Схемы образования криволинейных пазов, кольцевых канавок и прямолинейных лысок показаны на рисунке 1.8 к, л, м, н, о.

Точение сторон многогранника можно выполнять дисковой фрезой со вставными твердосплавными пластинами. Схема обработки шестигранника дисковой фрезой с тремя пластинами показана на рисунке 1.8 п. При этом фреза вращается с частотой в два раза большей, чем частота вращения обрабатываемой заготовки. Ширина фрезы несколько больше, чем длина стороны многогранника, поэтому движение подачи осуществляется только вдоль оси X . В случае достаточно большой длины стороны многогранника применяют торцевую фрезу с движением подачи вдоль оси заготовки по координатной оси Z (рисунок 1.8 р). Стороны, изготовленных этим методом многогранных профилей представляют собой отрезки эллиптических кривых. Однако отклонение от плоскостности незначительно и имеет второстепенное значение.

Такой метод обработки сторон многогранников позволяет отказаться от применения профилированного материала, а использовать в качестве заготовки круглый прокат. Среди преимуществ использования круглого проката суще-

ственными являются более простое позиционирование прутка в процессе обработки и возможность проводить обработку при более высокой частоте вращения шпинделя.

С помощью многогранного точения можно изготавливать любые детали с симметричными профилями: четырех-, шести-, восьмигранники и т.д. Одной торцевой фрезой можно точить заготовки с профилями различной длины. Этот метод наиболее производителен и не требует больших затрат на программирование.

Схема нарезания наружной резьбы гребенчатой фрезой изображена на рисунке 1.8 с. Инструментом в этом случае является набор дисковых фрез, суммарная длина которых на 2-5 мм больше длины фрезеруемой резьбы. Фрезу устанавливают параллельно оси заготовки. Происходит предварительное врезание фрезы на глубину резьбы. Во время полного оборота заготовки фреза перемещается на шаг резьбы. Фрезерование резьбы выполняется за 1,2 оборота заготовки, из которых 0,2 оборота необходимо для врезания. При использовании этого метода необходима точная синхронизация вращения шпинделя, в котором закреплена заготовка, и линейного перемещения фрезы вдоль координатной оси Z.

Другой метод нарезания наружной резьбы основан на использовании червячной фрезы (рисунок 1.8 т). В процессе обработки заготовка и фреза вращаются с одинаковой частотой.

Фрезерование выполняют при радиальном движении подачи вдоль координатной оси X. Таким методом можно нарезать как правую, так и левую резьбу. Одну и ту же фрезу используют для нарезания наружных резьб с одинаковым шагом на заготовке с различным наружным диаметром.

Преимуществами такого метода являются наибольшая производительность и возможность нарезания резьбы, расположенной за буртиком, или резьбы с очень коротким сбегом перед буртиком. Качество поверхности резьбы зависит от числа зубьев фрезы и шага резьбы. В процессе фрезерования резьбы червячной фрезой требуется точная синхронизация вращения инструментального шпинделя с вращением основного шпинделя, в котором закреплена заготовка.

Расширение технологических возможностей токарных многоцелевых станков с одновременным увеличением их производительности можно достичь за счет установки на станке двух независимых крестовых суппортов, каждый из которых имеет индивидуальную револьверную головку. Возможные схемы одновременной обработки различных элементов детали на двухсуппортном ТМС приведены в книге [14].

Таким образом, на ТМС возможно полное изготовление ряда деталей, если они не подвергаются термической обработке.

Конкретные модели универсальных станков с ручным и числовым программным управлением, полуавтоматов и автоматов, их технические характеристики и области эффективного использования приведены в номенклатурных каталогах, справочниках и технической литературе [14; 35; 44; 50].

1.5.3 Обработка шлицевых поверхностей

Шлицевые поверхности валов по конструкции могут быть прямобочными, эвольвентными и треугольными. В зависимости от того, какие поверхности шлицевого соединения являются посадочными (центрирующими), различают следующие способы центрирования: по наружной или внутренней поверхности, а также по боковым сторонам шлицев. Выбор способа центрирования зависит главным образом от технологических факторов, конструкции изделия и требований эксплуатации. Шлицевые соединения с прямобочными шлицами выполняют с центрированием по внутренней или наружной поверхности и боковым сторонам шлицев. Более широкое распространение получил способ центрирования по внутренней и боковым поверхностям шлицев как наиболее точный. При наличии в конструкции детали эвольвентных и треугольных шлицев центрирование осуществляется по боковому профилю шлицев.

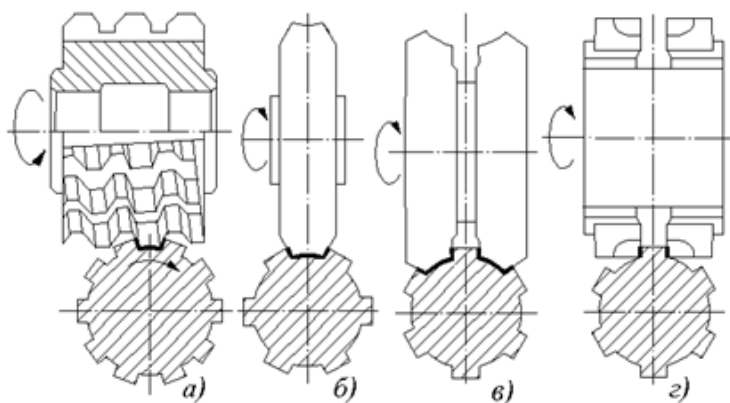
Шлицы на деталях типа валов формируют фрезерованием, строганием, протягиванием и накатыванием. Процесс обработки шлицев зависит от геометрической формы и размеров шлицев, технических требований к ним, метода центрирования шлицевого соединения, вида термической обработки и объема годового выпуска деталей.

В серийном производстве шлицы нарезают на шлице- или зубофрезерных станках червячной фрезой методом обката за один или два рабочих хода в зависимости от требуемой точности.

В этом случае профиль шлицев образуется в результате кинематически связанного непрерывного движения инструмента и заготовки (рисунок 1.9 а). В качестве технологических баз используют центровые отверстия вала. Применение многозаходных червячных фрез позволяет повысить производительность, но снижает точность обработки шлицев. У закаливаемых валов шлицы фрезеруют после предварительного наружного шлифования, у незакаливаемых – после чистового шлифования наружных поверхностей шлицев [34; 53].

Нарезание прямобочных шлицев на валах в крупносерийном производстве довольно часто выполняют фрезерованием фасонными дисковыми фрезами методом копирования с последующим их шлифованием. Обработку выполняют на горизонтально-фрезерных станках. Заготовка вала устанавливается в центрах делительной головки. Фрезерование производится либо за одну операцию (ри-

сунок 1.9 б), либо две: первая – предварительное фрезерование по внутреннему диаметру (рисунок 1.9 в), вторая – окончательное фрезерование по боковым поверхностям шлицев (рисунок 1.9 г). Нарезание шлицев фасонными дисковыми фрезами в 3-4 раза производительнее, чем обработка их на шлицефрезерных и зубофрезерных станках [34].



а – метод обката; б, в, г –метод копирования

Рисунок 1.9 – Схемы фрезерования шлицев

Прогрессивным способом формирования шлицев является контурное шлицестрогание (шлицедолбление) методом копирования набором фасонных резцов, расположенных в специальной головке, охватывающей вал и перемещающейся вдоль его оси [41; 56]. Число резцов в головке и их профиль соответствуют числу шлицев и профилю впадины между шлицами вала. После каждого рабочего хода головки резцы сдвигаются к центру на 0,1 мм при черновом и на 0,05 мм при чистовом строгании. Скорость резания при обработке составляет примерно 10-25 м/мин. Данным методом можно обрабатывать сквозные и несквозные шлицы на валах диаметром более 20 мм. Неэкономично строгать шлицы длиной менее 50 мм, а также закрытые шлицы, если ширина канавки для выхода инструмента менее 6 мм [56]. Строгание производится на специальных шлицестрогальных станках вертикального типа. Параметр шероховатости обработанной поверхности $Ra = 1,25-2,5$ мкм [42].

Производительным методом является протягивание шлицев блочными протяжками 1 (рисунок 1.10). При этом методе одновременно обрабатываются две диаметрально противоположных впадины.

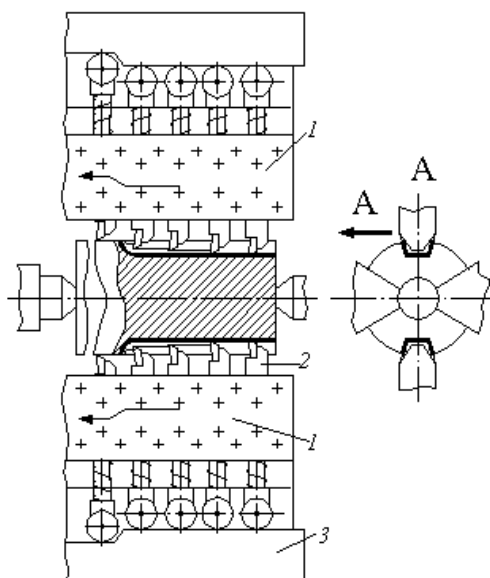


Рисунок 1.10 – Схема протягивания шлицев

После каждого хода протяжек вал поворачивается на определенный угол. Блок протяжки состоит из набора резцов 2, которые могут независимо перемещаться в радиальном направлении. Протягивание обеспечивает обработку как сквозных, так и несквозных шлицев. Копирная линейка 3 позволяет осуществить протягивание несквозных шлицев по заданной траектории. По производительности шлицестрогание и шлицепротягивание в 5-8 раз превосходят шлицефрезерование [34]. Стругание и протягивание шлицев рекомендуется применять в условиях крупносерийного и массового производства.

Перспективным является метод формирования шлицев пластическим деформированием металла без снятия стружки. Накатывание шлицев может производиться как в холодном, так и в горячем состояниях. Наиболее распространенным следует считать накатывание эвольвентных шлицев в холодном состоянии. Накатыванию подвергают валы с твердостью не выше НВ 200 при модуле шлицев 3 мм, не более. После холодного накатывания твердость поверхности повышается на 20-30%, поэтому в ряде случаев валы в дальнейшем можно не подвергать термической обработке. Повышается также в 1,4 раза износостойкость и прочность деталей и снижается расход металла [56].

Распространенным является способ накатывания шлицев по методу копирования профильной многороликовой головкой (рисунок 1.11 а). Обрабатываемую заготовку устанавливают в центрах, а головка перемещается вдоль ее оси на точно установленную длину. Формирование всех шлицев производится одновременно за один рабочий ход. При этом обеспечивается шероховатость поверхности $Ra = 2,5-0,63$ мкм, а производительность увеличивается в 10-15 раз по сравнению с фрезерованием шлицев. Однако при использовании многороликовых головок пластические деформации проникают на большую глубину в об-

рабатываемую заготовку, и в процессе формирования шлицев происходит ее удлинение. Кроме того, вытесненный металл частично размещается и на наружной поверхности. Поэтому после накатывания деталь должна быть подвергнута дополнительной обработке, например шлифованию. Недостатком является и то, что многороликовой головкой можно накатывать шлицы только одного размера.

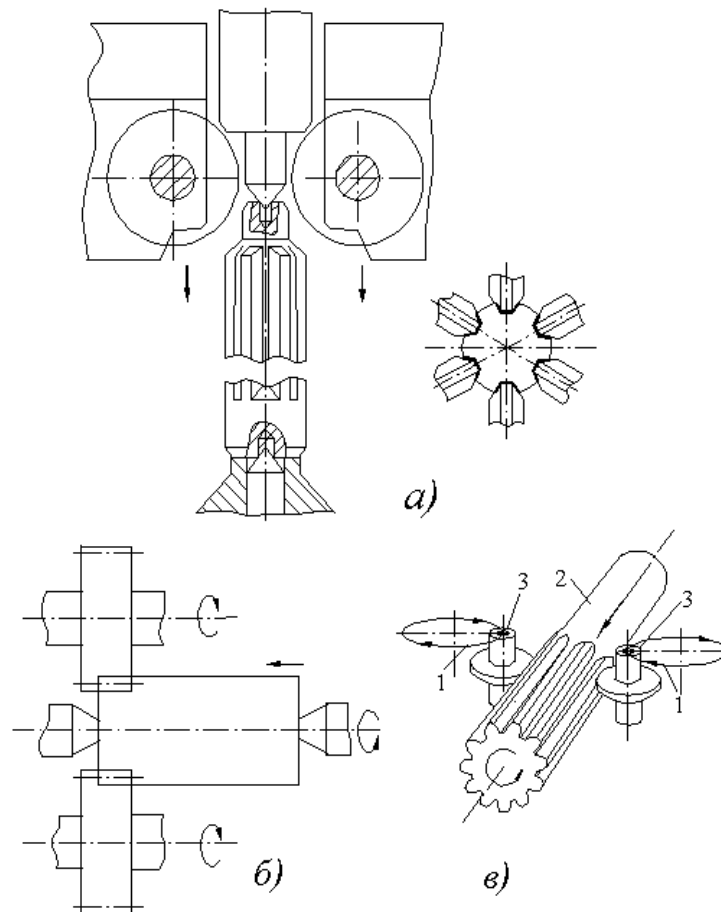


Рисунок 1.11 – Схемы накатывания шлицев: многороликовой головкой (а); круглыми роликами (б); планетарным методом (в)

Достаточно производительным является накатывание шлицев двумя или тремя накатными роликами, которые устанавливаются на делительной окружности предварительно обработанной заготовки с учетом упругих деформаций технологической системы (рисунок 1.11 б). Накатные ролики имеют заборную часть. Заготовка вращается синхронно с роликами и перемещается вдоль оси. Расстояние между накатными роликами устанавливается заранее и в процессе накатывания не меняется. Данный способ рекомендуется использовать при накатывании валов с большим количеством шлицев. Способ производительнее шлицефрезерования в 5-10 раз и обеспечивает шероховатость поверхности $Ra = 0,63-0,32$ мкм [34]. Одним и тем же комплектом накатных роликов опреде-

ленного модуля можно обработать валы с различным числом шлицев.

Накатывание шлицев плоскими рейками за один рабочий ход на всю длину производительнее, чем накатывание круглыми роликами. Однако из-за возникающих значительных сил его применение ограничено. Как правило, накатывают шлицы длиной не более 100 мм.

Высокопроизводительным способом является планетарное накатывание (рисунок 1.11 в). Профиль эвольвентных шлицев формируется двумя роликовыми головками 1, имеющими встречное вращение от двух двигателей. Головки оснащены профильными роликами 3, которые синхронно внедряются в заготовку 2, вращающуюся вокруг своей оси. Частота вращения головок и заготовки согласованы между собой с учетом числа шлицев. Одновременно с этим осуществляется непрерывная осевая подача заготовки. Планетарным накатыванием обеспечивается шероховатость обрабатываемых поверхностей $Ra < 1$ мкм [42].

Термически упрочняемые шлицевые валы, центрируемые по внутреннему диаметру, проходят финишную обработку на шлифовальных станках. Поверхности, образующие профиль шлицев, шлифуют или профильным фасонным кругом одновременно по боковым поверхностям и дну впадины (рисунок 1.12 а), или (в две операции) двумя кругами сначала боковые поверхности (рисунок 1.12 б), а затем внутреннюю поверхность (рисунок 1.12 в). Шлифование производится с периодическим поворотом заготовки. По точности и производительности наилучшие результаты дает шлифование одним профильным кругом. Шлицы термообработанных валов, центрируемые по наружной цилиндрической поверхности, после фрезерования и термообработки подвергают чистовому шлифованию по боковым и наружным поверхностям.

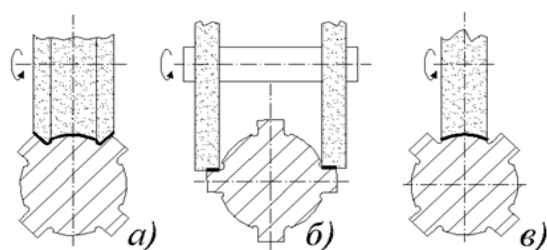


Рисунок 1.12 – Схемы шлифования шлицев: всего профиля фасонным кругом (а); боковых поверхностей (б); внутренней поверхности (в)

1.5.4 Шлифование наружных поверхностей

Наиболее распространенным методом отделочной обработки деталей типа валов является наружное шлифование, которое можно разделить на предварительное, окончательное (чистовое) и тонкое. Предварительное шлифование

выполняют после токарной обработки. На операциях предварительного шлифования достигается точность 8-9-го квалитетов и шероховатость поверхности $Ra = 6,3-1,25$ мкм. Данный вид шлифования может выполняться и до термической обработки в качестве промежуточной операции для подготовки поверхности к окончательной обработке. Окончательным шлифованием достигается точность 6-7-го квалитетов и шероховатость поверхности $Ra = 3,2-0,2$ мкм. Тонкое шлифование применяют главным образом для достижения шероховатости поверхности $Ra = 1,6-0,1$ мкм и точности по 5-6-му квалитетам [49]. Тонкое шлифование малопродуктивно и поэтому его применяют только тогда, когда другие отделочные методы не обеспечивают требуемого качества поверхностного слоя.

Шлифование наружных поверхностей деталей типа тел вращения производят на круглошлифовальных, торцекруглошлифовальных станках, бесцентровошлифовальных полуавтоматах и автоматах как высокой, так и особо высокой точности [31].

При обработке на круглошлифовальных и торцешлифовальных станках заготовки устанавливают в центрах, патроне, цанге или специальных приспособлениях. Базой для обработки валов чаще всего служат центровые отверстия. Крутящий момент передается при помощи хомутика или поводкового патрона. Различают продольное и врезное шлифование.

Метод продольного шлифования (рисунок 1.13 а) является более универсальным, чем метод врезного шлифования. Он не требует специальной настройки, одним шлифовальным кругом можно обработать поверхности разной длины. При продольном шлифовании круг изнашивается более равномерно и в меньшей степени оказывает влияние на отклонение от цилиндричности шлифуемой поверхности. При продольном шлифовании достигаются наименьшая шероховатость обрабатываемой поверхности и минимальное тепловыделение [49]. Данный метод применяют при обработке цилиндрических поверхностей длиной более 50 мм.

Разновидностью продольного шлифования является глубинное шлифование. Оно характеризуется большой глубиной резания и малой продольной подачей (рисунок 1.13 б). При этом способе шлифования значительно меньше сказывается влияние погрешностей формы заготовки и колебания припуска на результаты обработки. Поэтому глубинное шлифование применяют для обработки заготовок без предварительной лезвийной обработки и, как правило, снимает припуск за один рабочий ход. Производительность труда при глубинном шлифовании повышается в 1,2-1,3 раза по сравнению с продольным шлифованием [31].

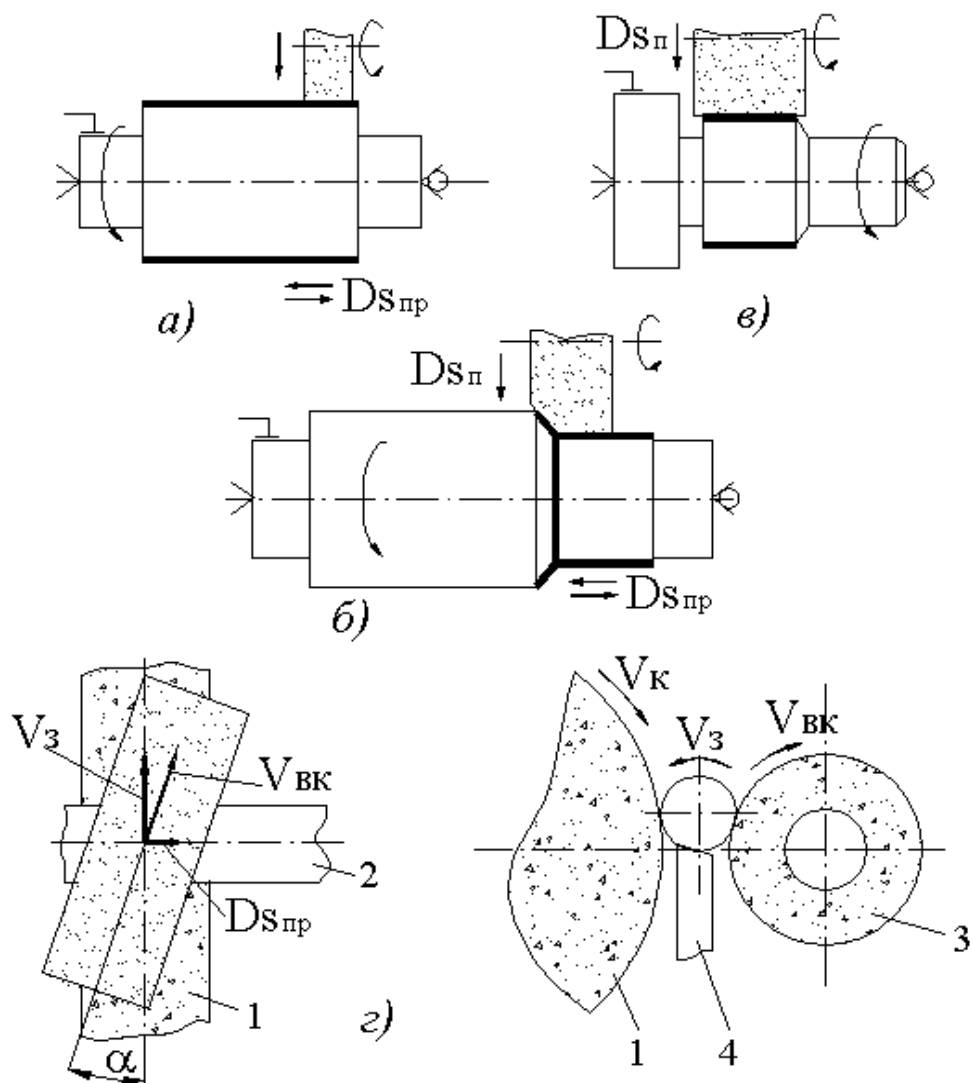


Рисунок 1.13 – Схемы наружного шлифования валов:
 с продольной подачей (а); глубинного (б); врезного (в); бесцентрового (г)

При врезном шлифовании одновременно обрабатывается вся шлифуемая поверхность (рисунок 1.13 в). Данный метод является более производительным, чем метод продольного шлифования, однако уступает ему по достигаемому качеству поверхности. Врезное шлифование широко применяют в крупносерийном и массовом производстве для обработки коротких шеек, поверхностей, ограниченных буртами, ступенчатых и фасонных поверхностей. Одновременное шлифование шейки и прилегающего торца выполняют на торце­кру­глошлифовальных станках с наклоном круга. В ряде случаев, используя современные станки, оснащенные набором профилированных шлифовальных кругов, можно обеспечить одновременную обработку нескольких шеек различной конфигурации и прилежащих к ним торцов [41; 49].

В условиях серийного производства все более широкое применение находят шлифовальные станки с ЧПУ. С помощью приборов, установленных на этих

станках, контролируются размеры детали и перемещение рабочих органов станка. При этом время обработки сокращается в 1,5-2 раза по сравнению с обработкой на станках с ручным управлением при одновременном повышении качества поверхностного слоя изготавливаемой детали [9; 56].

В условиях крупносерийного и массового производства для обработки небольших валов и осей используется бесцентровое круглое шлифование. При бесцентровом шлифовании (рисунок 1.13 г) заготовку 2 не закрепляют в центрах, как на круглошлифовальных станках, а свободно помещают между шлифующим 1 и ведущим 3 кругами. Опорный нож 4 служит для поддержания шлифуемой заготовки. Центр заготовки при бесцентровом шлифовании располагается выше линии, соединяющей центры обоих кругов на 10-14 мм во избежание получения огранки детали.

Шлифующий круг имеет окружную скорость $V_k = 30-60$ м/с, а ведущий - $V_{вк} = 10-40$ м/мин. Так как коэффициент трения между кругом 3 и обрабатываемой заготовкой больше, чем между заготовкой и кругом 1, то ведущий круг сообщает заготовке вращение со скоростью круговой подачи $V_{вк}$. Благодаря ско-су ножа, направленному в сторону ведущего круга, заготовка прижимается к этому кругу. Осевая подача заготовки осуществляется путем поворота ведущего круга 3 на угол, который составляет $1-4,5^\circ$ [17]. Таким образом, на бесцентровошлифовальных станках технологической базой является сама шлифуемая поверхность. Существуют два способа бесцентрового шлифования: проходное (с продольной подачей) и врезное (с поперечной подачей). Если вал гладкий, то применяют шлифование с продольной подачей на проход. Если вал ступенчатый, то его шлифуют с продольной подачей до упора. Врезным бесцентровым шлифованием обрабатывают у деталей короткие шейки цилиндрической, конической и фасонной формы. При врезном шлифовании оси шлифующего и ведущего кругов параллельны или ведущий круг устанавливается под небольшим углом ($\alpha = 0,2-0,5^\circ$), а осевому перемещению обрабатываемой заготовки препятствует специально устанавливаемый упор. Бесцентровое шлифование небольших валов и осей позволяет обеспечивать точность по 6-7-му квалитетам, жесткость технологической системы при бесцентровом шлифовании выше жесткости системы при круглом шлифовании, что позволяет применять более высокие режимы резания и проводить обработку нежестких деталей. Кроме того, бесцентровошлифовальные станки легко автоматизируются и встраиваются в автоматические линии. Вместе с тем бесцентровое шлифование уступает обработке в центрах по точности обеспечения круглости и соосности различных шеек валов. К недостаткам можно отнести и большую длительность наладки оборудования, в несколько раз превышающую время наладки круглошлифовальных станков [56]. Примеры различных схем выполнения шлифовальных операций, характеристика шлифовальных станков различных типов приведены в справочниках [49; 50] и технической литературе [4; 29; 41].

ГЛАВА 2. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ПОЛЫХ ЦИЛИНДРОВ

2.1 Общая характеристика деталей

Среди большого количества деталей типа тел вращения значительную долю составляют так называемые полые цилиндры, т.е. такие детали, в основе конструкции которых лежат один или несколько концентрично расположенных полых цилиндров. К этому типу относятся как простые детали, близкие к правильной форме полого цилиндра, так и детали, представляющие собой тела вращения со сложной внутренней поверхностью, при наружном очертании не всегда соответствующие цилиндру, например: втулки, стаканы, обоймы, фланцы, чашки сателлитов дифференциала, ступицы колес, плунжеры опрокидывающих механизмов, цилиндры гидроамортизаторов и др. Все детали типа полых цилиндров характеризуются размерным соотношением $0,5D < L \leq 2D$, где L и D – соответственно длина и наибольший наружный диаметр детали. К основным поверхностям, подлежащим обработке, относятся внутренние и наружные цилиндрические поверхности и торцы. Поскольку детали представляют собой тела вращения, то черновая и чистовая обработка ведется обычно на станках токарного типа, а отделочные операции – на бесцентрово- и внутришлифовальных станках. Иногда токарную обработку выполняют вращающимися инструментами при неподвижном закреплении заготовки. Остальные обрабатываемые поверхности деталей этого типа составляют незначительную часть в технологическом процессе.

К большинству деталей типа полых цилиндров предъявляются высокие технические требования по точности обработки и качеству поверхностного слоя обрабатываемых поверхностей. Особое внимание уделяется обеспечению концентричности внутренних и наружных соосно расположенных поверхностей и перпендикулярности торцов к осям отверстий. Точность диаметральных наружных и внутренних сопрягаемых поверхностей обычно соответствует 7-9-му квалитетам, а для наиболее ответственных поверхностей даже 6-му квалитету; допуск соосности наружных и внутренних поверхностей 0,01-0,03 мм; допуск торцевого биения относительно оси отверстия 0,03-0,05 мм; допуск цилиндричности и круглости поверхностей под подшипники 0,01-0,02 мм. Шероховатость внутренних сопрягаемых поверхностей $Ra = 2,50-32$ мкм, наружных поверхностей вращения $Ra = 2,5-1,25$ мкм, торцевых поверхностей $Ra = 40-1,25$ мкм. [42; 56].

Для изготовления деталей типа полых цилиндров применяют самые разнообразные конструкционные материалы: серые и ковкие чугуны, углеродистые

и легированные стали, цветные металлы и их сплавы, металлические порошки, текстолит, капрон и др.

Заготовками для небольших деталей простой формы с диаметром отверстия до 20-25 мм обычно служат калиброванные или горячекатаные прутки, а также отливки без отверстий. Для деталей с диаметром отверстия более 25 мм в качестве заготовок используют сварные и цельнотянутые трубы, полые отливки, поковки и штамповки с прошитыми отверстиями. Заготовки из порошкового материала получают прессованием и спеканием.

Для получения заготовок стальных деталей с фланцами или буртами наиболее прогрессивной является штамповка на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ). Особенностью этих машин является то, что кроме главного деформирующего ползуна имеется зажимной ползун. Последний зажимает недеформированную часть прутка или трубы, создавая возможность высадки деформируемой части заготовки. Благодаря этому достигается экономия металла, так как штамповочные уклоны малы, а получаемая благоприятная макроструктура штамповок обеспечивает высокое качество деталей.

При отсутствии ГКМ штамповку стальных деталей выполняют из прутка в открытых или закрытых штампах на кривошипных горячештамповочных прессах или молотах. В этом случае получают более значительные штамповочные уклоны и не всегда удается прошить отверстие. Однако стоимость заготовок получается ниже, чем на ГКМ.

Для тонкостенных гладких втулок и деталей, имеющих значительные перепады ступеней отверстия, заготовки можно эффективно получать из труб путем дорнования в обоймах или редуцирования на оправках [56]. Коэффициент использования материала таких заготовок составляет 0,95. Операции выполняют на прессах в холодном состоянии, при этом обеспечивается точность диаметральных размеров, соответствующая 9-10-му квалитетам, а шероховатость поверхности $Ra = 2,5-0,63$ мкм.

Заготовки втулок, ступиц колес, цилиндров и других деталей из чугуна, цветных металлов и их сплавов получают литьем различными способами. При этом предпочтение отдается способам, которые обеспечивают наименьшие припуски на обработку, таким как литье в металлические и оболочковые формы под давлением по выплавляемым моделям, центробежное. Отливки крупных заготовок получают литьем в песчаные формы [45; 56]. Перспективным методом для изготовления заготовок сложных тонкостенных деталей из различных материалов является штамповка жидкого металла, обеспечивающая точность заготовок по 11-14-квалитетам и шероховатость поверхности $Ra = 2,5-1,25$ мкм. Коэффициент использования металла достигает 0,9-0,93 [2].

Заготовки из порошковых материалов имеют высокое качество поверхно-

сти с минимальными припусками на обработку. Порошковой металлургией можно изготавливать детали с заданными свойствами.

Более детальную характеристику методов получения заготовок деталей типа полых цилиндров можно найти в технической литературе [2; 45; 49].

2.2 Основные технологические требования

При конструировании деталей типа полых цилиндров рекомендуется соблюдать следующие технологические требования [5; 18; 51; 52]:

1 Конструкция детали должна допускать обработку всех внутренних поверхностей с одной стороны при одном установе. Это позволит обеспечить соосность внутренних поверхностей детали.

2 Нежелательно иметь соосные глухие отверстия, располагаемые с двух сторон детали. Если глухие отверстия должны выполняться с высокой точностью, то в конструкции детали следует предусматривать канавки для выхода режущего инструмента. Наличие таких канавок обязательно, если деталь подвергается термической обработке.

3 В конструкциях деталей, имеющих фланцы, последние по возможности должны иметь круглую форму.

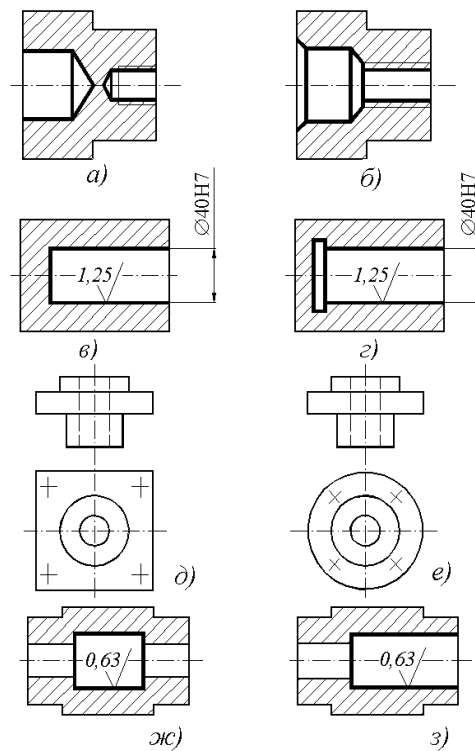
4 Внутренние выточки, особенно если их необходимо выполнять с высокой точностью, нежелательны. Целесообразно детали конструировать открытыми с двух сторон.

5 Образование шлицев в глухих отверстиях затруднительно. Желательно отверстия со шлицами предусматривать открытыми. Это позволит применить протягивание вместо долбления. Сквозные шлицевые отверстия не должны иметь перерывов, так как это вызывает удары по режущему инструменту, приводя к сокращению срока его службы. Если применение сквозных шлицевых отверстий невозможно, следует обязательно предусматривать канавки для выхода формообразующего инструмента.

6 Крепежные резьбы в деталях следует располагать таким образом, чтобы их обработка была возможна с одного установа.

7 В деталях, подвергающихся термической обработке, следует избегать острых углов, заменяя их галтелями или радиусными переходами, желательно одного диаметра.

Примеры отдельных конструктивных решений с учетом их технологичности приведены на рисунке 2.1.



а, в, д, ж – нетехнологичные; б, г, е, з – технологичные

Рисунок 2.1 – Варианты конструкций деталей типа полых цилиндров

Если детали обрабатываются на станках с ЧПУ, то для повышения их технологичности желательно при конструировании деталей соблюдать дополнительные требования, такие как минимальная разнотипность геометрических элементов, образующих наружный и внутренний контуры детали, и рациональная геометрическая форма детали, обеспечивающая возможность осуществления минимального числа чистовых переходов, сокращение количества типоразмеров режущего инструмента, замену специальных инструментов стандартными, сокращение затрат на расчет и подготовку программ.

2.3 Базирование и типовая схема обработки заготовок

Технологическими черновыми базами всегда являются один из торцев заготовки и наружная или внутренняя необработанная цилиндрическая поверхность. Для заготовок, имеющих сложную наружную поверхность (цилиндры тормозной системы и др.), иногда базой может служить эта поверхность. В качестве постоянных технологических баз для последующей обработки принимают обработанную цилиндрическую поверхность (наружную или внутреннюю) и один из торцев. При шлифовании посадочных отверстий деталей с наружными зубчатыми венцами последние зачастую служат в качестве технологических баз. Для углового фиксирования заготовки используют либо одно из

отверстий на торце или фланце, либо шпоночный паз, либо элементы фасонных поверхностей детали.

Специфические технологические задачи при обработке деталей типа полых цилиндров заключаются в достижении концентричности наружных поверхностей относительно центрального отверстия и перпендикулярности торцев к оси этого отверстия. Для тонкостенных деталей возникает дополнительная задача закрепления заготовки без значительных ее деформаций. Эти задачи могут быть решены тремя способами: обработкой наружных цилиндрических поверхностей, отверстий и торцев за один установ; обработкой всех соосно расположенных цилиндрических поверхностей и торцев за два установа или за две операции с базированием при окончательной обработке отверстия по наружной поверхности (обработка от вала); обработкой всех соосно расположенных цилиндрических поверхностей и торцев за два установа или за две операции с базированием при окончательной обработке наружной поверхности по отверстию (обработка от отверстия).

При обработке детали за один установ концентричность наружных и внутренних цилиндрических поверхностей жестких деталей зависит только от точности станка и инструмента. Однако из-за недостаточной жесткости деталей данного типа от этого способа часто приходится отказываться. Наибольшее распространение обработка за один установ получила при изготовлении деталей из прутка или трубы с отрезкой обработанной заготовки в конце выполнения операции.

Из двух других способов базирование по отверстию на последней операции (переходе) предпочтительнее базирования по обработанной наружной поверхности, так как имеет перед ним ряд преимуществ: а) при обработке на жесткой или разжимной оправке погрешность установки отсутствует, или значительно меньше, чем при обработке в патроне с закреплением заготовки по наружной поверхности; б) оправки являются более точными, простыми и дешевыми центрирующими устройствами по сравнению с патронами; в) при использовании оправок может быть достигнута высокая степень концентрации обработки; г) жесткость резцов для наружного точения и надежность закрепления их значительно превышают те же условия для расточных резцов, в связи с чем отклонение оси обрабатываемых поверхностей будет меньше.

При обработке на станках с ЧПУ выбор технологических баз, помимо их основного назначения – обеспечения точного и неизменяемого в ходе обработки положения обрабатываемых поверхностей заготовки относительно установочных и направляющих элементов зажимного приспособления, должен обеспечить совмещение направления координатных осей заготовки с осями координатной системы станка и расположение нуля детали в точке, заданной коорди-

натами в этой системе отсчета. У деталей типа тел вращения центры, самоцентрирующий патрон, цанга или разжимная оправка автоматически совмещают направление оси заготовки с координатной осью Z. Для определения местоположения начала отсчета необходимо иметь в заготовке базовый торец, который с достаточной точностью и постоянством ставил бы заготовку всегда на равном удалении от отсчета по оси Z.

Изготовление деталей типа полых цилиндров из штучных заготовок производится в следующей последовательности [8; 38]:

1 Черновая токарная обработка наружных и внутренних, конических, сферических поверхностей и их торцев с одной стороны при установке по необработанным торцу и одной из цилиндрических поверхностей.

2 Черновая токарная обработка наружных и внутренних цилиндрических, конических, сферических и торцевых поверхностей с другой стороны при установке на обработанные цилиндрическую поверхность и торец.

3 Получистовая и чистовая токарная обработка цилиндрических, конических и сферических поверхностей, а также прилегающих к ним торцев с одной, а затем и с другой стороны, при установке на обработанную цилиндрическую поверхность и один из торцев.

4 Следует отметить, что современное высокопроизводительное оборудование позволяет объединить черновую, получистовую и чистовую обработку в одну или две операции.

5 Фрезерование плоскостей большой протяженности при установке на обработанную цилиндрическую поверхность и один из торцев. В случае необходимости угловое положение заготовки фиксируется по черновой литой или штампованной поверхности.

6 Выполнение операций обработки второстепенных поверхностей, таких как фрезерование небольших поверхностей, сверление, зенкерование, развертывание, нарезание резьбы в мелких отверстиях и т.п.

7 Нарезание наружных и внутренних зубьев при базировании на отверстие и торец.

8 Термическая обработка.

9 Отделка точных цилиндрических, конических, фасонных и торцевых поверхностей при установке, как правило, на цилиндрическую поверхность и торец.

В зависимости от конфигурации конкретной детали и технических условий на ее изготовление отдельные пункты типовой схемы обработки могут быть исключены из технологического процесса. Применение современного автоматизированного оборудования, особенно станков с ЧПУ, за счет большой концентрации технологических переходов позволяет сократить число станочных операций.

При использовании заготовки из прутка может быть рекомендована следующая последовательность обработки [53; 56]:

1 Подрезка торца, зацентровка торца, сверление отверстия, зенкерование или растачивание отверстия, черновое и чистовое точение наружных поверхностей со снятием фасок на свободном торце, развертывание или окончательное растачивание отверстия, отрезка. Заготовку базируют по необработанной наружной поверхности и свободному торцу, подавая пруток до упора.

2 Подрезка второго торца, точение и растачивание наружных и внутренних поверхностей, снятие фасок. Базирование осуществляется по наружной или внутренней цилиндрической поверхности и торцу.

3 Выполнение второстепенных операций: сверление крепежных отверстий, нарезание в них резьбы; обработка шлицев, шпоночных канавок; фрезерование лысок и т.д.

4 Термическая обработка (при необходимости).

5 Отделочная обработка наиболее ответственных поверхностей, к которым предъявляются повышенные требования по точности обработки и качеству поверхностного слоя. Базирование заготовок осуществляется по наружной или внутренней цилиндрической поверхности и одному из торцов.

2.4 Технология выполнения основных и второстепенных операций

2.4.1 Токарная обработка

Токарная обработка при использовании заготовок из круглого или трубного проката производится в зависимости от типа производства на универсальных токарных станках с ручным и числовым программным управлением, токарных многоцелевых станках, токарно-револьверных или токарных горизонтальных многошпиндельных полуавтоматах и автоматах.

В мелкосерийном производстве для сокращения времени переналадок и повышения эффективности использования оборудования целесообразно использование принципов групповой обработки. Это особенно важно для обеспечения максимальной загрузки станков с ЧПУ.

Для группового изготовления детали, сходные по переходам обработки, объединяют в группы, для которых характерным является обработка в одном установочно-зажимном приспособлении и одним комплектом режущего инструмента.

При использовании принципов групповой технологии для обработки любой детали из группы на станке с ЧПУ достаточно только внести в систему ЧПУ соответствующую управляющую программу. Достаточно широко методы групповой обработки используются и на токарно-револьверных станках.

Штучные заготовки обрабатываются в зависимости от размеров детали и серийности производства, на токарно-карусельных станках, вертикальных и горизонтальных многошпиндельных полуавтоматах, многорезцовых копировальных полуавтоматах, универсальных токарных и токарно-револьверных патронных станках с ручным и числовым программным управлением.

На универсальных токарно-карусельных станках обрабатывают заготовки крупных размеров разнообразной формы. Основными типами токарно-карусельных станков являются одностоечные (1508, 1510, 1512, 1516 и др.) с одним вертикальным суппортом с пятипозиционной револьверной головкой и боковым суппортом с четырехрезцовым поворотным резцедержателем и двухстоечные (1551, 1525, 1Л532, 1540, 1550 и др.) с двумя вертикальными и одним боковым суппортом.

Данные станки позволяют выполнять точение и растачивание цилиндрических, конических и фасонных поверхностей вращения; точение торцев; подрезание уступов; подрезание кольцевых канавок; сверление и рассверливание, зенкерование и развертывание отверстий. Применяя специальные приспособления, можно дополнительно выполнять нарезание резьбы, фрезерование, шлифование, обкатывание роликами и другие виды обработки.

Обработка на данных станках позволяет обеспечить точность 7-8-го классов и шероховатость поверхности $Ra = 3,2-6,3$ [49].

Применение токарно-карусельных станков с ЧПУ позволяет автоматизировать процесс обработки и в 2-2,5 раза повысить производительность труда. Станки моделей 1512Ф3, 1516Ф3, 1532Ф3, 1А525МФ3, 1А532ПМФ3 оснащены контурными системами управления и предназначены для обработки заготовок с цилиндрическими, торцевыми, коническими и криволинейными поверхностями. При использовании станков с ЧПУ можно обеспечить обработку по 6-8-му классам точности [49].

Наиболее широкое распространение для токарной обработки деталей типа полых цилиндров крупных и средних размеров получили токарные вертикальные многошпиндельные полуавтоматы последовательного действия моделей 1К282, 1Б284, 1283, 1286. Указанные модели станков для выполнения наиболее распространенных видов обработки оснащаются суппортами следующих типов: вертикальным для обработки с вертикальной подачей инструментов; горизонтальным для обработки с горизонтальной рабочей подачей (данный суппорт имеет как горизонтальные, так и вертикальные вспомогательные перемещения); универсальным для обработки конических поверхностей заготовки. Для расширения технологических возможностей многошпиндельные полуавтоматы могут оснащаться специальными суппортами, такими как сдвоенные, суппорты с приводом многошпиндельной сверлильной головки, суппорты с расточной

или шлифовальной головками, суппорт с высокочастотным индуктором для закалки отдельных поверхностей детали.

Сдвоенные суппорты снабжены вертикальными и горизонтальными салазками, что позволяет в одной позиции совмещать обработку с вертикальной и горизонтальной подачами. Суппорт с приводом сверлильной головки применяют для обработки нецентральных крепежных отверстий. Суппорты с расточной или шлифовальной головками, имеющими индивидуальный привод, предназначены для чистовой и отделочной обработки центральных отверстий диаметром до 100 мм.

На вертикальных многошпиндельных станках последовательного действия можно обеспечить за несколько переходов, применяя специальный мерный инструмент, точность по 6-9-му квалитетам, а шероховатость поверхности $Ra = 2,5-0,4$ мкм [49].

Проектирование наладок и расчет режимов производят отдельно для каждой позиции. При этом стараются распределить нагрузку на отдельные суппорты и подобрать режимы резания таким образом, чтобы продолжительность работы всех суппортов была приблизительно одинаковой. Это позволяет повысить стойкость инструментов на нелимитирующих позициях и тем самым сократить время на подналадку станка, а также более рационально использовать все суппорты, не допуская перегрузки их на отдельных позициях.

При проектировании наладок для позиций черновой обработки с целью повышения производительности рекомендуется увеличивать число одновременно работающих инструментов до шести-восьми. Большое число инструментов на позиции значительно усложняет конструкцию державок и затрудняет процесс наладки станка.

Для переходов, где производится обработка точных поверхностей (6–7-го квалитетов), необходимо выделение отдельных позиций. Для исключения погрешности индексации обработку особо точных отверстий следует осуществлять специальными «плавающими головками» или инструментами.

Совместно работающие резцы необходимо располагать по разные стороны от оси вращения детали, чтобы усилия резания от одних инструментов уравновешивались усилиями резания от других инструментов.

Обработку заготовок, имеющих большую разницу в диаметральном размерах обрабатываемых поверхностей, рекомендуется выполнять на смешанных наладках, используя на поверхностях с большими диаметрами твердосплавные резцы, а на поверхностях с малыми диаметрами инструменты из быстрорежущих сталей.

Повышение производительности труда при обработке простых деталей с небольшим количеством переходов можно обеспечить за счет применения двухциклового наладки с двумя или одной загрузочными позициями [12].

В крупносерийном и массовом производстве достаточно большое распространение получили одно и двухшпиндельные вертикальные и горизонтальные многорезцовые полуавтоматы. Эти станки обладают большими технологическими возможностями, удобны в обслуживании, могут быть легко объединены в автоматические линии и оснащены средствами активного контроля. Благодаря простой кинематической цепи, жесткости и виброустойчивости эти станки приспособлены для обработки деталей на высоких режимах резания. Одношпиндельные и двухшпиндельные токарные полуавтоматы, оснащенные несколькими крестовыми (сдвоенными) и гидрокопировальными суппортами, в том числе копировальными суппортами с револьверной головкой на 2–4 инструмента, приспособлены для комплексной обработки деталей с точностью до 6–8-го квалитетов и шероховатостью поверхности $Ra = 4-2,5$ мкм [41].

Схемы наладок на токарно-карусельные станки, одно- и многошпиндельные горизонтальные полуавтоматы при изготовлении деталей типа полых цилиндров приведены в технической литературе [41, 49]. Пример одноцикловой наладки вертикального многошпиндельного токарного полуавтомата показан на рисунке 2.2.

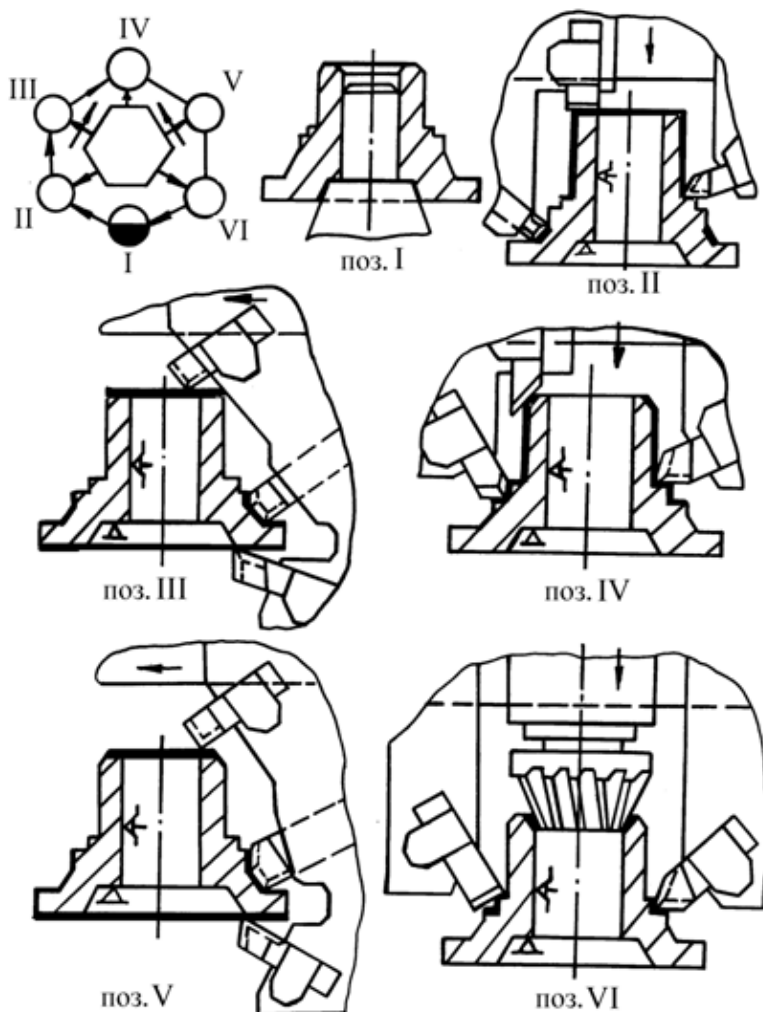


Рисунок 2.2 – Схема наладки шестипозиционного полуавтомата для обработки фланца

Особенности обработки на токарно-револьверных станках и полуавтоматах, а также на токарных станках с ЧПУ изложены в главе 1.

2.4.2 Обработка крепежных отверстий

При обработке крупных деталей и небольшом их выпуске сверлильные операции выполняют на радиально-сверлильных станках моделей 2М55, 2Р53, 2Н57 и др. Обработку средних и небольших деталей производят на вертикально-сверлильных станках моделей 2М112, 2Н118, 2Н135, 2Н150, 2Р135Ф2 и др. При обработке отверстий различными инструментами применяют быстросменные патроны или сверлильные револьверные головки. Обработку крепежных отверстий можно выполнять и на вертикально-фрезерных станках с ЧПУ (6Р11Ф3, 6Р13Ф3), совмещая сверление с фрезерованием небольших плоскостей, прорезей и т.п. При использовании токарных многоцелевых станков сверление может совмещаться с токарной, фрезерной и другими видами обработки.

При значительном выпуске деталей сверлильные операции выполняются на многопозиционных специальных сверлильных полуавтоматах или на сверлильных станках, оснащенных многошпиндельными сверлильными головками. При обработке крупных деталей применяют одно- или многосторонние агрегатные станки.

2.4.3 Отделочная обработка центральных отверстий

Отделочными операциями обработки внутренних цилиндрических поверхностей деталей типа полых цилиндров, получившими наибольшее применение в промышленности, являются тонкое растачивание, шлифование, хонингование и раскатывание.

Что касается отделочной обработки наружных цилиндрических поверхностей, то она осуществляется, как правило, шлифованием, разновидности и особенности которого рассмотрены в главе 1.

2.4.3.1 Тонкое растачивание

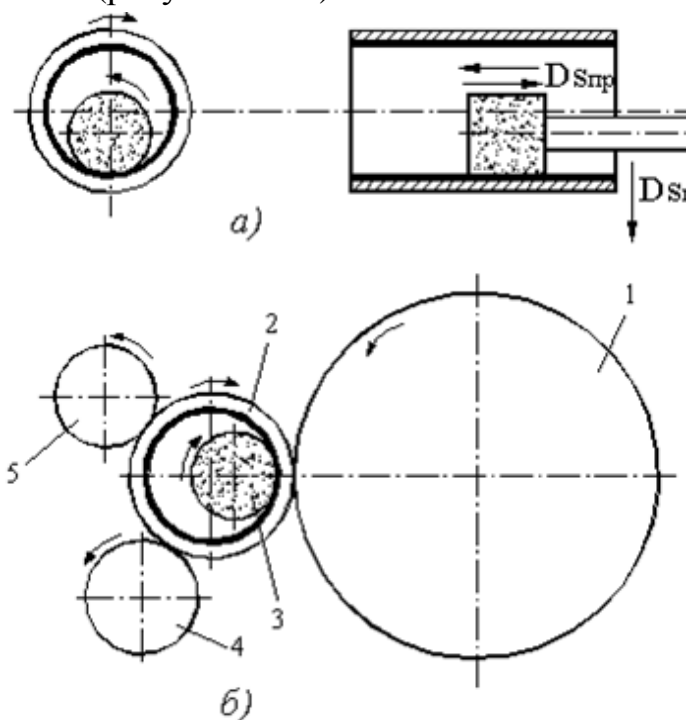
Тонкое (алмазное) растачивание применяют для получения высокой точности размеров, геометрической формы, направления и прямолинейности оси отверстия. Тонкое растачивание выполняют с высокой скоростью резания, малой глубиной и небольшой подачей, как правило, без охлаждения. Для обработки используют отделочно-расточные станки горизонтального (2705П, 2706П, 2711П, 2711В и др.) и вертикального (2776В, 2777В, 2Е78П, 278Н и др.) исполнений, обладающие высокой жесткостью и виброустойчивостью. Режущим ин-

струментом, как правило, являются однолезвийные резцы с пластинами из твердого сплава или сверхтвердых материалов. Для растачивания деталей из цветных металлов и их сплавов применяют также резцы, оснащенные природными или синтетическими алмазами. При тонком растачивании может быть обеспечена точность по 5-7-му квалитетам и шероховатость поверхности $Ra = 1,25-0,063$ мкм [49; 53].

2.4.3.2 Шлифование

Внутреннее шлифование используют главным образом при обработке отверстий в закаленных деталях, когда по каким-либо причинам невозможно применить другие, более производительные методы точной обработки отверстий, например тонкое растачивание, хонингование и др. Внутреннее шлифование обеспечивает точность 5-7-го квалитетов и шероховатость поверхности $Ra = 2,5-0,32$ мкм [49].

Для отделочной обработки деталей типа тел вращения существуют два основных способа внутреннего шлифования: шлифование отверстия во вращающейся заготовке, закрепленной в патроне или специальном приспособлении, и шлифование отверстия во вращающейся незакрепленной заготовке (бесцентровое шлифование). Наиболее распространен первый способ, который обеспечивает более высокую соосность обрабатываемого отверстия и наружной цилиндрической поверхности (рисунок 2.3 а).



а – во вращающейся заготовке, закрепленной в патроне;

б – во вращающейся незакрепленной заготовке

Рисунок 2.3 – Схемы внутреннего шлифования

Шлифование производится на внутришлифовальных станках моделей 3К225А, 3А240, 3К227В, 3А228П, 3К229В и др. Отверстия обрабатывают на проход и врезанием. Способ врезания используют при обработке коротких отверстий, не имеющих канавок для выхода круга. Во всех остальных случаях применяют шлифование на проход, обеспечивающее более высокую точность и меньшую шероховатость поверхности.

Внутреннее шлифование имеет свои технологические особенности. При шлифовании отверстий диаметр шлифовального круга принимают равным 0,7-0,9 диаметра обрабатываемого отверстия. Высоту круга выбирают в зависимости от длины шлифуемого отверстия. При шлифовании отверстий с продольной подачей круг не должен выходить в обе стороны больше, чем на половину его высоты, так как в противном случае диаметр отверстия по концам увеличивается [40].

Бесцентровое шлифование широко применяется в крупносерийном и массовом производстве как обеспечивающее высокую производительность труда. Обработка производится на бесцентрово-шлифовальных полуавтоматах 3Д180, 3М182А, 3М184А, 3185, 3М185 и др. При внутреннем бесцентровом шлифовании (рисунок 2.3 б) базой для установки заготовки служит наружная, предварительно обработанная цилиндрическая поверхность. Обработка происходит в следующем порядке: заготовка 2 направляется и поддерживается тремя роликами. Ролик 1 является ведущим. Он вращает заготовку и в то же время удерживает ее от возможного вращения с большей скоростью под действием шлифовального круга 3. Верхний нажимной ролик 5 прижимает заготовку к ведущему ролику 4. Заготовка, зажата между тремя роликами, вращается с той же скоростью, что и ведущий ролик 1. При смене заготовки ролик 5 отходит, освобождая заготовку и позволяя вставить ручную или автоматически новую заготовку. Вращающийся шлифовальный круг 3 осуществляет радиальную подачу на глубину шлифования, одновременно имея возможность перемещаться в продольном направлении относительно заготовки.

2.4.3.3 Хонингование

Хонингование является основным видом отделочной обработки точных отверстий, позволяющим обеспечить высокую размерную и геометрическую точность, малую шероховатость поверхности и благоприятные остаточные сжимающие напряжения. Хонингованием обрабатывают детали из стали, чугуна, цветных металлов и их сплавов с гладкими и прерывистыми сквозными и глухими отверстиями диаметром 6-1500 мм и длиной от 10 мм до 20 м [49]. Процесс хонингования осуществляется на специальных станках вертикального и горизонтального исполнений. Инструментом является хонинговальная головка (хон), представляющая собой цилиндр с абразивными брусками. Внутри ци-

линдрa установлен конический стержень, с помощью которого абразивные бруски раздвигаются до нужного положения, компенсируя износ при обработке. Хонинговальная головка совершает совмещенное вращательное и возвратно-поступательное движение при постоянном давлении абразивных брусков на обрабатываемую поверхность. Процесс ведется с обильным охлаждением. При хонинговании абразивные бруски сглаживают поверхность отверстия и доводят ее до нужных размеров и шероховатости. Точность отверстия после хонингования соответствует 5-7-му квалитетам, а шероховатость поверхности $Ra = 0,2-0,04$ мкм [34; 49; 53].

Так как при хонинговании в резании одновременно участвует большое число абразивных зерен, то в результате обеспечиваются высокая производительность обработки, низкие давление и температура в зоне резания и, как следствие, сохранение исходной структуры поверхностного слоя. Бруски работают в условиях самозатачивания и не требуют правки. Хонинговальные головки с принудительно разжимаемыми брусками позволяют исправить погрешности формы (конусность, овальность, бочкообразность), если они остались после предыдущей обработки (расточивания, развертывания, шлифования). Припуск под хонингование, как правило, составляет 0,01-0,07 мм для стали и 0,02-0,20 мм для чугуна [31].

Наибольшая производительность достигается алмазным хонингованием. Производительность алмазного хонингования в два раза превышает производительность шлифования.

2.4.3.4 Раскатывание

Раскатывание отверстий применяют для снижения шероховатости поверхности, повышения износостойкости и усталостной прочности деталей. Этот метод применим для раскатывания отверстий в деталях из материалов, способных деформироваться в холодном состоянии, твердость которых не превышает HRCЭ 45-55 [37]. Обработку ведут стальными закаленными и шлифованными шариками и роликами на токарных, сверлильных и других станках, обычно при достаточно большом количестве смазочного материала.

Различные схемы раскатывания, конструкции и характеристики инструментов, а также режимы обработки приведены в справочнике [37]. Раскатыванием обеспечивается точность, соответствующая 7-8-му квалитетам, и шероховатость поверхности $Ra = 2,0-0,05$ мкм. Припуск на обработку обычно рекомендуется выбирать равным 0,006-0,05 мм в зависимости от конструкционного материала и его твердости, вида предыдущей обработки и требуемой шероховатости поверхности. Чаще всего раскатываются отверстия стальных жестких деталей. В ряде случаев раскатывание позволяет исключить из технологического процесса обработки детали операции шлифования и полирования.

ГЛАВА 3. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ДИСКОВ

3.1 Конструктивные и технологические особенности деталей

Детали типа дисков широко применяются в машиностроении. В автомобилях, тракторах, гусеничных и колесных машинах специального назначения к таким деталям относятся маховики, ведущие и направляющие колеса, опорные и поддерживающие катки, крышки, барабаны, различные кольца, диски трения, шкивы, зубчатые колеса и др. Конструктивной особенностью деталей этого типа является то, что они имеют форму тел вращения, у которых высота детали не превышает половины наибольшего наружного диаметра. Детали, как правило, имеют центральное цилиндрическое, коническое, резьбовое или шлицевое отверстие. Конструкция ряда деталей предусматривает наличие отверстий для крепления, которые расположены по окружности, концентричной центральному отверстию. Главными поверхностями деталей типа дисков являются торцы и короткие цилиндрические и конические наружные и внутренние поверхности, обрабатываемые в основном при вращении детали. В зубчатых колесах к главным поверхностям относятся также поверхности зубьев.

К большинству деталей типа дисков предъявляются высокие технические требования по точности, прочности, жесткости, износостойкости, коррозионной стойкости и другим свойствам, определяемым их назначением.

Наиболее распространенными деталями данного типа, отличающимися большим конструктивным разнообразием, являются зубчатые колеса, которые используются в механизмах для передачи вращательного движения и крутящего момента между параллельными, пересекающимися и скрещивающимися осями валов, а также для преобразования вращательного движения в поступательное.

Различают силовые зубчатые передачи, служащие для передачи крутящего момента с изменением частоты вращения валов, и кинематические, служащие для точной передачи вращательного движения между валами при относительно небольшом крутящем моменте. В силовых передачах важно обеспечить в первую очередь их износостойкость, а также плавность и бесшумность работы. Чем выше окружные скорости зубчатых колес, тем точнее они должны быть изготовлены. В кинематических передачах необходимо прежде всего обеспечить кинематическую точность.

Технические требования к зубчатым колесам зависят от служебного назначения и, как правило, определяется степенью их точности. Установлено двенадцать степеней точности зубчатых колес, для каждой из которых регламентированы нормы кинематической точности, плавности работы колеса, контакта боковых поверхностей зубьев сопрягаемых колес. В машиностроении

наибольшее распространение получили зубчатые колеса 5-9-й степеней точности с частотой вращения 2,5-40 м/с. Зависимость степени точности и шероховатости поверхности зубчатых колес от частоты их вращения в изделии показана в таблице 3.1 [34; 42].

Таблица 3.1 – Зависимость степени точности и шероховатости поверхности от частоты вращения зубчатого колеса

Частота вращения, м/с	Степень точности	Параметр шероховатости поверхности Ra, мкм
До 2,5	8–9	2,5–1,25
2,5–6	7–8	1,25–0,63
6–16	6–7	1,25–0,63
16–40	5–6	0,63–0,32

При изготовлении зубчатых колес высокой степени точности важно обеспечить концентричность наружных и внутренних соосных поверхностей, а также перпендикулярность торцев к оси центрального отверстия. Точность обработки посадочных отверстий зубчатых колес соответствует 6-7-му квалитетам, для прецизионных колес – 5-му квалитету. Шероховатость посадочных поверхностей обычно составляет $Ra = 1,25-0,16$ мкм [56].

3.2 Материалы и методы получения заготовок

В зависимости от служебного назначения детали типа дисков изготавливают из углеродистых и легированных сталей, чугунов, цветных металлов и их сплавов, терморезистивных порошков и неметаллических материалов.

Шкивы, фланцы, маховики, крышки изготавливают большей частью из чугунов. Используются шкивы из алюминиевых сплавов и прессованного текстолита или бакелита с наполнителем. Для изготовления опорных катков применяются стали и алюминиевые сплавы. Тормозные барабаны выполняют из чугунов твердостью HB = 170-240. Диски трения изготавливают из легированной стали с покрытием из металлокерамики.

Зубчатые колеса в зависимости от степени нагружения изготавливают из углеродистых и легированных сталей, чугунов, цветных металлов и их сплавов и пластмасс.

Наиболее широко используют стали 20, 45, 20X, 40X, 12ХН3А, 18ХГТ, 25ХГТ, 40ХФА. Колеса из сталей 12ХН3А, 20X и 25ХГТ подвергают нитроце-

ментации с последующей закалкой; колеса из стали 18ХГТ – цементации и закалке; зубчатые колеса, изготавливаемые из остальных сталей, – объемной закалке и закалке ТВЧ. Для изготовления зубчатых колес больших размеров с диаметром свыше 800 мм применяют стальное литье 50Л, 55Л, реже – легированное стальное литье 40ХЛ.

Червячные колеса выполняют из бронзы, серого и ковкого чугуна. Часто червячные колеса изготавливают составными: ступицу – из чугуна, а венец – из бронзы.

При изготовлении стальных колес высокой точности для снятия внутренних напряжений чередуют механическую и термическую обработки. Для снятия остаточных напряжений, уменьшения коробления для зубчатых колес ответственных передач заготовки тщательно проковывают и используют мелкозернистые стали [9].

Зубчатые колеса из неметаллических материалов (текстолита, нейлона, капрона) могут работать при высоких скоростях. Колеса из этих материалов обеспечивают бесшумность, плавность передачи и гашение вибраций.

В зависимости от типа производства, материала детали, ее конфигурации и размеров для получения заготовок деталей типа дисков могут быть использованы следующие методы: отрезка из круглого, трубного, профильного проката; ковка; объемная горячая и холодная штамповка; литье; холодная листовая штамповка, порошковая металлургия, комбинированные процессы и др.

Заготовки деталей простой формы диаметром до 70 мм получают резкой из проката. При этом в единичном и серийном производствах целесообразно использовать горячекатаные или холодноотянутые гладкие прутки или трубы. В массовом и крупносерийном производстве может применяться специальный прокат зубчатого или шлицевого профиля.

Крупные колеса в условиях единичного и мелкосерийного производства изготавливают из кованных заготовок. Свободная ковка является малопродуктивным и трудоемким методом, заготовки имеют большой и неравномерный припуск на механическую обработку.

Наиболее распространенным методом получения стальных заготовок деталей типа дисков в серийном и массовом производствах является горячая объемная штамповка, которая осуществляется на молотах, кривошипных прессах и горизонтально-ковочных машинах. Процесс штамповки на кривошипных прессах является более совершенным, чем штамповка на молотах. На прессах можно получить заготовки, достаточно близкие по размерам и форме к готовой детали. Коэффициент использования металла в среднем составляет 0,6-0,7. Заготовки для зубчатых колес в крупносерийном производстве получают также высадкой на горизонтально-ковочных машинах из горячекатаного проката нор-

мальной точности. Коэффициент использования металла при этом достигает 0,75-0,85 [53].

Штампованные заготовки целесообразно выполнять с прошитыми центральными отверстиями, если их диаметр более 30 мм, а длина не превышает четырех диаметров этих отверстий.

Для формирования зубьев зубчатых колес в серийном и массовом производствах достаточное распространение получили радиальная объемная штамповка и горячее накатывание зубьев.

Получение заготовок путем холодной объемной штамповки позволяет довести коэффициент использования металла до 0,95-0,97 при одновременном повышении прочностных характеристик материала. Таким образом, можно изготавливать достаточно крупные и сложные детали транспортных машин. Например, конические шестерни дифференциала диаметром до 80 мм с зубьями, отверстием и сферой штампуют с производительностью до 2000 штук в час. После отжига окончательно обрабатывают зубья, а после термообработки – шлифуют или хонингуют отверстие. Сферическая поверхность после штамповки не требует механической обработки. Коэффициент использования металла достигает 0,97, одновременно резко снижается объем механической обработки [41]. Область применения холодной объемной штамповки ограничивается свойствами конструкционных материалов, в частности предельным значением прочности и размерами заготовок. В ряде случаев используется полугорячая объемная штамповка, которая производится при температуре 500-800°. Полугорячая объемная штамповка применяется в случае, когда сопротивление подлежащего штамповке материала при комнатной температуре превышает допустимые значения, а также при очень больших деформациях [41].

Заготовки из чугуна, стального и бронзового литья, алюминиевых сплавов получают литьем в песчаные формы, кокильным и центробежным литьем. Последний способ особенно широко применяется при изготовлении заготовок крупных зубчатых колес. Литьем в ряде случаев можно получать и зубчатые венцы 10-12-й степеней точности без последующей механической обработки. Такие зубчатые колеса могут использоваться в отдельных подъемно-транспортных машинах. Чугунные колеса могут отливаться с отбеленной наружной поверхностью, что способствует повышению износостойкости [45].

Заготовки из пластмасс получают прессованием и литьем. Для изготовления дисков трения, зубчатых колес небольших размеров, колец, шайб и т.п. используется холодная листовая штамповка.

Прогрессивным методом получения заготовок деталей типа дисков, особенно зубчатых колес, является метод порошковой металлургии, при котором заготовки спекаются из порошковых смесей при температуре ковки. Материа-

лом служат металлические порошки с добавлением легирующих элементов (никеля, хрома, молибдена и др.) Порошковая смесь тщательно перемешивается и прессуется в закрытом штампе. Спрессованная из порошка заготовка упрощенной формы подвергается спеканию в печах при температуре 1150-1350°. После вторичного нагрева при температуре 800-1100° заготовка вновь подвергается горячему прессованию в закрытом штампе. При этом плотность металла возрастает, обеспечивая тем самым высокую механическую прочность. Точность получения заготовки позволяет практически отказаться от механической обработки, за исключением отделочных операций. Порошковая металлургия позволяет получить значительную экономию металла, так как при изготовлении 1 т заготовок из металлического порошка экономится 2 т стального проката [42].

Примером промышленного использования порошковой металлургии является изготовление сателлита дифференциала и шестерен полуоси в Акционерном обществе ЗИЛ.

В последние годы в автомобиле- и тракторостроении начинают применяться и другие высокопроизводительные современные методы получения заготовок деталей типа дисков [41]. Например, горячая объемная штамповка на многопозиционных автоматах типа «Хатебур» позволяет изготавливать заготовки массой до 3 кг с прошивкой центральных отверстий и минимальными припусками на механическую обработку. Производительность автоматов превышает 4 тыс. штук в час. Для повышения точности в автомат можно встроить мини-ЭВМ, корректирующую длину отрезки прутка в зависимости от его фактического диаметра, что обеспечивает постоянство объема заготовки. На автоматах этого типа можно получать заготовки зубчатых колес диаметром до 170 мм из штанги диаметром 90 мм.

Высокая точность и качество поверхности заготовок достигается при использовании комбинированного способа штамповки на горячевысадочных автоматах с последующей обработкой обкатыванием в полугорячем состоянии на сферодвижных прессах. Заготовки, полученные этим способом, имеют уменьшенные штамповочные уклоны и припуски, позволяющие значительно сократить, а в ряде случаев и исключить, механическую обработку.

В отечественной практике накоплен достаточный опыт применения нового технологического процесса – штамповки жидкого металла, который объединяет в себе процессы литья, горячей штамповки и выдавливания. Штамповку жидкого металла используют в серийном и массовом производствах для получения заготовок самой разнообразной формы, включая зубчатые колеса, из черных и цветных металлов и их сплавов. Как уже отмечалось в главе 2, данный метод обеспечивает точность заготовок по 11-14-му квалитетам, а коэффициент использования металла – до 0,93.

Более подробно с характеристикой различных методов получения заготовок деталей типа дисков, их особенностями, достоинствами, недостатками и областями применения можно ознакомиться в технической литературе [2; 3; 41; 42; 45; 49].

3.3 Технологичность, базирование и типовая схема обработки заготовок

Основные требования к технологичности деталей – тел вращения – изложены в главах 1 и 2. Однако для обеспечения производительной и экономичной обработки заготовок деталей типа дисков при их конструировании следует соблюдать следующие дополнительные требования [6; 38; 51]:

1 Торцевая поверхность зубчатого колеса является базой при нарезании зубьев, поэтому она должна иметь малую шероховатость и быть строго перпендикулярной к оси центрального отверстия.

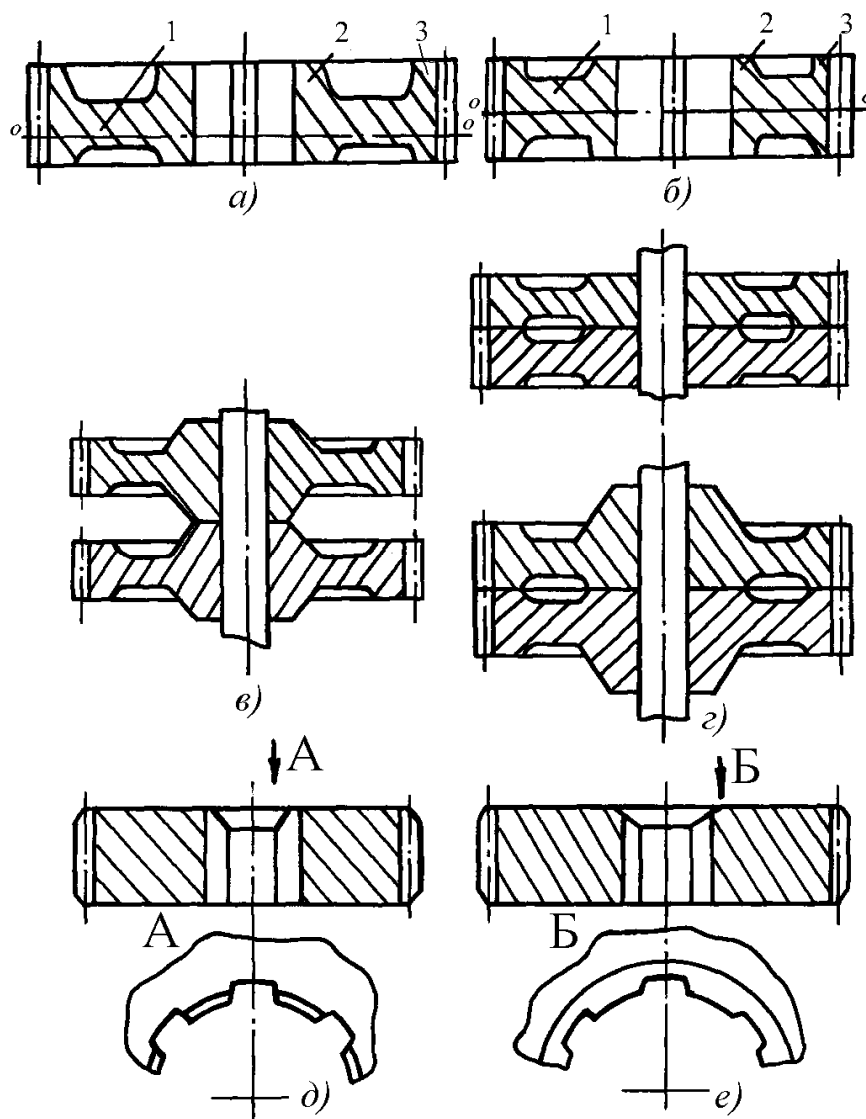
2 В конструкциях двухвенцовых зубчатых колес, а также колес с внутренними несквозными зубьями необходимо предусматривать выточки, достаточные для выхода инструмента при образовании зубьев.

3 В ряде случаев выгодно разделять сложные детали на простые. Сборный вариант крупногабаритной шестерни позволяет выполнять фланец из менее дорогого металла, чем зубчатый венец, удешевляет ремонт детали, обеспечивает нарезание зубьев на станке меньших размеров.

4 Обрабатываемые поверхности должны быть доступны для режущего и измерительного инструментов.

5 Диск 1, связывающий ступицу 2 с зубчатым венцом 3 (рисунок 3.1 б), должен быть расположен симметрично относительно оси 00 , проходящей на равных расстояниях от обоих торцев зубчатого венца и ступицы. Обработку резанием зубчатого колеса с несимметричным расположением диска (рисунок 3.1 а) во избежание появления вибраций из-за неравномерного распределения массы выполняют при более низких режимах резания, чем обработку колеса с равномерным распределением массы. Кроме того, при термической обработке в процессе охлаждения несимметричная конструкция будет подвержена большей деформации из-за разных скоростей остывания верхней и нижней частей детали.

Существенное влияние на оценку технологичности зубчатых колес оказывает расположение торцев ступицы относительно торцев зубчатого венца. Зубья колес с выступающей ступицей (рисунок 3.1 в) затруднительно нарезать пакетом из-за отсутствия надежной опорной плоскости. Кроме того, значительно увеличивается рабочий ход инструмента. Для повышения технологичности торцы ступицы, по крайней мере с одной стороны, не должны выступать за торцы зубчатого венца (рисунок 3.1 г).



б, г, е – технологичные; а, в, д – нетехнологичные
 Рисунок 3.1 – Конструкции зубчатых колес

б У зубчатых колес со шлицевыми отверстиями желательно в этих отверстиях предусматривать фаски (рисунок 3.1 д, е), размер которых превышает высоту шлицев. Такие конструкции колес обеспечивают более высокие режимы резания при токарной обработке торцов и способствуют увеличению срока службы режущего инструмента за счет исключения ударной нагрузки.

Методы базирования деталей типа дисков при механической обработке имеют много общего с базированием полых цилиндров. В большинстве случаев черновыми технологическими базами являются один из торцов и наружная цилиндрическая поверхность. Постоянными базами для последующей механической обработки служат обработанный торец и наружная или внутренняя цилиндрическая или коническая поверхности, обработанные на первой операции. При шлифовании центрального отверстия зубчатых колес в качестве одной из баз

часто используют зубчатый венец. При необходимости для установки заготовки в определенном угловом положении можно использовать одно из отверстий малого диаметра на торце, лыску, шпоночный паз, шлицы, впадину зуба и т.п.

Изготовление крупных и средних деталей данного типа, как правило, осуществляется в следующей последовательности:

1 Черновая и чистовая обработка торца и отверстия, а также черновая обработка свободной части наружной поверхности при установке заготовки на торец и центрирующем зажиме по наружной цилиндрической поверхности. При обработке конических шестерен базирование осуществляется по двум наружным коническим поверхностям.

2 Черновая и чистовая обработка наружных поверхностей и торцев с другой стороны заготовки при базировании ее по обработанным начисто внутренней цилиндрической поверхности и одному из торцев.

3 Выполнение второстепенных операций, например: сверление и развертывание мелких отверстий, нарезание в них резьбы; фрезерование небольших поверхностей; протягивание шпоночных канавок и т.д.

4 Черновое и чистовое нарезание зубьев шестерен при базировании по центральному отверстию и торцу.

5 Выполнение второстепенных операций, связанных с нарезанием зубьев (закругление, срезание зубьев, сверление смазочных отверстий во впадинах зубчатого венца, затупление острых кромок и т.д.).

6 Термическая обработка.

7 Отделка точных поверхностей шлифованием, хонингованием, обкатыванием и т.п.

Современное металлообрабатывающее оборудование с ручным управлением и с ЧПУ, включая токарные многоцелевые станки, позволяет производить всю токарную обработку в одной операции с переустановкой заготовки, зачастую совмещая ее со сверлением и фрезерованием.

Технологический процесс изготовления мелких и небольших деталей типа дисков отличается иногда от приведенного выше тем, что чистовую обработку гладкого или шлицевого отверстия (при диаметре не более 80 мм) выделяют в отдельную операцию протягивания, а черновая обработка отверстия и торца выполняется на одно- или многопозиционных сверлильных станках, а не на станках токарного типа.

3.4 Технология обработки основных поверхностей

Для обработки основных поверхностей деталей типа дисков используют токарные полуавтоматы и автоматы различных типов; универсальные токарные,

сверлильные и фрезерные станки с ручным управлением и с ЧПУ, в том числе токарные многоцелевые станки, обладающие большими технологическими возможностями; специальные сверлильные и агрегатные полуавтоматы; вертикально- и горизонтально-протяжные станки. Отделочные операции, как правило, выполняют на шлифовальном оборудовании различных типов и на отделочно-расточных станках.

Характеристика процессов обработки, технологические возможности большинства перечисленных станков, область их эффективного использования достаточно подробно изложены в главах 1 и 2.

Вместе с тем большую группу деталей типа тел вращения, особенно дисков, составляют зубчатые колеса. При изготовлении этих деталей наиболее важными и трудоемкими, определяющими во многом точность и качество обработки являются операции формирования и отделки зубьев.

3.4.1 Основные методы формирования зубьев

Формирование зубьев зубчатых колес может производиться как нарезанием, так и накатыванием. В автотракторостроении используется два метода нарезания зубьев, а именно: копирования и обкатывания.

Нарезание зубьев по методу копирования осуществляется следующими способами: фрезерованием зубьев дисковыми или концевыми модульными фрезами, одновременным долблением всех зубьев колеса зубодолбежными головками, протягиванием зубьев круговыми и плоскими протяжками.

Принцип работы дисковой и концевой модульных фрез заключается в том, что фреза прорезает впадину между зубьями (как правило, за несколько рабочих ходов), после чего заготовка поворачивается на один зуб с помощью делительного механизма и прорезается следующая впадина. Работа выполняется на обычных универсально-фрезерных станках. Концевые модульные фрезы применяют для нарезания зубчатых колес крупного модуля, а также для нарезания шевронных колес на специальных станках. Колеса малых модулей нарезают дисковыми модульными фрезами.

Обработка модульными фрезами используется в единичном и мелкосерийном производствах. Недостатками этого метода являются низкая точность обработки зуба (как правило, не точнее 10-й степени точности), низкая производительность и высокая себестоимость обработки. Невысокая точность обработки определяется неточностью профилирования инструмента, неточностью делительных приспособлений и погрешностью установки фрезы относительно нарезаемого колеса. Причинами низкой производительности и высокой себестоимости обработки являются прерывность процесса формирования зубьев,

потери времени на врезание фрезы при изготовлении каждого очередного зуба, на поворот заготовки, на подвод заготовки к фрезе, недостаточная стойкость инструмента.

По методу копирования работают также зубодолбежные головки. Метод зубодолбления головками является одним из самых производительных и достаточно точных (7-8-я степени точности [55]). Долбление осуществляется на специализированных полуавтоматах моделей 5110, 5120, 5130 и др. Для обработки используют специальные многолезцовые головки, которые изготавливают для каждого типоразмера колеса в соответствии с его модулем и числом зубьев. Число лезцов соответствует числу впадин зубьев обрабатываемого колеса, а конфигурация резца аналогична форме впадин зуба. Резцовая головка остается неподвижной, а заготовка совершает вертикальное возвратно-поступательное движение. При входе заготовки в головку радиально расположенные резцы одновременно снимают необходимый слой металла, при выходе заготовки резцы слегка расходятся и не касаются обрабатываемых поверхностей. При очередном ходе заготовки резцы вновь сходятся к центру, углубляясь в заготовку на величину подачи и опять снимают слой металла. Такие движения повторяются до тех пор, пока не будет полностью сформирован зубчатый венец. По окончании обработки станок автоматически выключается. В процессе нарезания впадины подача переменная: в начале процесса подача составляет 0,4-0,5 мм на двойной ход, а в конце уменьшается до 0,025-0,03 мм на двойной ход [55; 56]. Скорость резания при зубодолблении составляет от 3 до 10 м/мин. Резцовые головки рассчитаны на нарезание зубчатых колес с модулем от 2 до 10 мм и диаметром до 250 мм. Производительность станков для контурного долбления в 8-10 раз превышает производительность зубофрезерных и традиционных зубодолбежных станков. Однако зубодолбежные головки сложны в изготовлении и дороги. Поэтому данный способ применяется только в массовом и крупносерийном производствах.

В этих же условиях используются круговые протяжки, которыми можно нарезать конические и цилиндрические прямозубые колеса с высокой производительностью. При обработке заготовка неподвижна. Протяжка вращается с постоянной скоростью и имеет возвратно-поступательное перемещение вдоль впадины зуба [49].

Нарезание каждой впадины производится за один оборот протяжки. Инструмент имеет черновые, получистовые и калибрующие зубья. После нарезания впадины колесо поворачивается вокруг своей оси на один зуб и процесс повторяется. После обработки всех впадин зубчатое колесо отводится от протяжки, снимается со станка и устанавливается новая заготовка. Скорость протягивания 15-25 м/мин. Время обработки одного зуба составляет 2-6 с [55]. Оборуд-

дование – зубопротяжные станки моделей 5245, 5С268, 5С269. При таком способе протягивания обеспечиваются 8-9-я степени точности [49].

Протягивание зубьев может осуществляться и на обычных вертикально-протяжных станках с круглыми поворотными столами. При этом способе можно выполнять протягивание одной или нескольких впадин одновременно плоскими протяжками, а также – одновременное протягивание всех впадин зубьев [56]. Плоские протяжки используют при нарезании зубьев на колесах больших диаметров и невысокой точности. После каждого рабочего хода и возвращения протяжки в исходное положение стол станка поворачивается на соответствующий угол и производится протягивание следующих впадин. Точность профиля зуба получается достаточно высокой, однако точность шага невелика вследствие накапливающихся погрешностей в делительном механизме поворотного стола.

Нарезание зубьев зубчатых колес по методу обкатывания осуществляется в процессе совместного согласованного движения режущего инструмента и заготовки, тем самым воспроизводится зацепление соответствующей зубчатой пары. Метод обкатывания характеризуется высокой производительностью, возможностью одним инструментом обрабатывать колеса одного модуля с разным числом зубьев, высокой точностью. Обработка зубчатых колес по данному методу выполняется следующими основными способами: фрезерованием червячными фрезами, долблением, строганием, точением обкаточными резцами. Нарезание зубчатых колес червячными модульными фрезами основано на имитации зацепления пары червяк – червячное колесо. Червячная модульная фреза представляет собой червяк с прорезанными продольными стружечными канавками. В результате этого образуются режущие зубья, которые путем затылования и затачивания получают необходимые углы. Червячными фрезами можно нарезать цилиндрические колеса, обеспечивая при этом 8-10-ю степенями точности [31]. Способ отличается универсальностью. Его применяют для зубчатых колес с модулем до 40 мм. Червячными фрезами можно также фрезеровать зубья шевронных зубчатых колес с широкой канавкой для выхода фрезы.

Для нарезания зубьев используются универсальные зубофрезерные станки с вертикальной или горизонтальной осями вращения инструмента. При нарезании прямых зубьев фрезу на станке устанавливают так, чтобы ее ось была наклонена под углом винтовой линии. При фрезеровании колес с винтовыми зубьями червячную фрезу устанавливают с учетом углов наклона винтовых линий витков фрезы и зуба колеса.

Для фрезерования используют одно-, двух- и трехзаходные червячные фрезы. С увеличением заходности фрез увеличивается производительность, но снижается точность обработки. Поэтому многозаходные фрезы рекомендуется

применять главным образом для предварительного нарезания зубьев. Как правило, формирование зубьев при модулях колес до 5 мм выполняют за один рабочий ход на полную глубину зуба, при больших модулях – за два рабочих хода фрезы (черновой и чистовой) [53].

Наибольшее распространение в машиностроении получил способ фрезерования червячной фрезой с осевой подачей, при котором фреза перемещается параллельно оси обрабатываемого колеса. Недостатком способа является большая длина врезания инструмента.

При фрезеровании с радиально-осевой подачей червячная фреза в начале резания и до получения полной высоты зуба перемещается радиально. Затем радиальная подача прекращается и включается осевая. При радиальной подаче возрастает нагрузка на зубья фрезы, а следовательно, увеличивается износ зубьев. Поэтому радиальную подачу назначают в 2-3 раза меньше осевой. Способ с радиально-осевой подачей экономичен при фрезеровании зубчатых колес с большим углом наклона зубьев и при работе червячными фрезами большого диаметра [49].

Фрезерование с диагональной подачей осуществляют, как и фрезерование с радиально-осевой подачей, на специальных станках. Червячная фреза перемещается под углом к оси обрабатываемого колеса. Данный способ применяют в крупносерийном и массовом производстве для обработки колес с широкими зубчатыми венцами, пакета колес и колес с повышенной твердостью, когда необходимо иметь большой период стойкости фрез в процессе резания. Способ целесообразно применять и для колес, у которых в дальнейшем зубья не подвергаются обработке.

Повышение производительности при зубофрезеровании достигается за счет увеличения диаметра фрезы, жесткости ее установки, использования сборных конструкций инструментов, оснащенных твердосплавными режущими пластинами, применения многозаходных червячных фрез и увеличения числа одновременно нарезаемых колес. Повышение производительности и точности обработки обеспечивается и за счет использования более жестких зубофрезерных станков с ЧПУ, позволяющих автоматизировать процесс нарезания зубьев [9].

Долбление зубьев осуществляется при вращении как инструмента, так и заготовки вокруг собственных осей. При их вращении воспроизводится зацепление пары цилиндрических зубчатых колес, сопровождаемое процессом резания. Долбяк представляет собой зубчатое колесо, боковые поверхности зубьев которого наклонены для образования задних углов при резании. Кроме вращательного движения долбяк совершает возвратно-поступательное движение вдоль своей оси при образовании колес с прямым зубом и вдоль зуба при формировании колес с косым зубом. Долбление производится на зубодолбежных

станках моделей 5111, 5122Б, 5140, 5М150 и др. В большинстве случаев зубчатые колеса с модулем до 2 мм обрабатываются за один обкат, с модулем 2-4 мм – за два обката и с модулем больше 4 мм – за три обката. При долблении могут достигаться 7-8-я степени точности [31].

Долбление главным образом применяется при нарезании зубьев малого модуля (до 2,5 мм) и чистовой обработке зубьев средних модулей (до 6 мм); обработке зубьев, близко расположенных к буртикам или соседним венцам блочного колеса; нарезании внутренних зубьев. Для получения колес 7-й степени точности и модулем больше 3 мм часто применяют технологию, при которой черновую обработку зубьев выполняют зубофрезерованием, а чистовую – зубодолблением [9].

Основными путями повышения производительности зубодолбления круглыми долбяками являются: долбление без радиальной подачи долбяка; долбление нескольких заготовок комбинированным долбяком; долбление нескольких венцов блочной шестерни с одного установка на станках с ЧПУ; автоматизация зубодолбежного станка [56].

Строгание зубьев зубчатой рейкой имеет много общего с обработкой долбяком. Рейка представляет собой долбяк с радиусом кривизны, близким к бесконечности. Профиль режущих кромок рейки прямой, что значительно упрощает их изготовление. Однако вследствие небольшой длины рейки по сравнению с длиной окружности зубчатого колеса процесс строгания зубьев получается прерывистым. Поэтому производительность нарезания будет ниже, чем при обработке долбяком. Строгание рейкой применяют для нарезания зубьев на крупных зубчатых колесах. Точность обработки и качество поверхности ниже, чем при обработке долбяками. Этот способ образования зубьев выполняется на специальных вертикальных и горизонтальных зубострогальных станках. Зубчатые колеса с модулем до 7 мм нарезают за один рабочий ход, с модулем 8-14 мм – за два рабочих хода и модулем более 14 мм – за три рабочих хода и более [56].

Способ зуботочения основан на воспроизводящем зацеплении пары винтовых колес со скрещивающимися осями, одно из которых является режущим инструментом. При обработке зубчатого колеса происходит относительное скольжение боковых поверхностей зубьев и инструмента, представляющее собой процесс резания. По исполнению инструмент похож на долбяк, но работа его аналогична работе токарного резца, поэтому его называют обкаточным резцом. При нарезании прямозубых цилиндрических колес применяют косозубые обкаточные резцы, а при нарезании косозубых колес используют прямозубые и косозубые резцы. Производительность зуботочения в 2-4 раза выше производительности зубофрезерования однозаходной фрезой, точность соответствует 8-й степени [31].

Более подробно с характеристикой основных способов зубонарезания, схемами обработки, конструкциями инструментов, оборудованием можно познакомиться в технической литературе [4; 41; 49; 50; 55].

В последние годы все большее распространение получает метод формирования зубьев накатыванием в холодном и горячем состояниях. Накатывание имеет большие преимущества перед способами обработки зубьев резанием. К ним относятся: повышение производительности труда в 5-30 раз, увеличение износостойкости и прочности зубьев, уменьшение отходов металла.

Накатывание зубьев цилиндрических колес с модулем до 2 мм производится в холодном состоянии, с модулем до 10 мм – в горячем состоянии. При холодном накатывании обеспечиваются 7-8-я степени точности обработки зубьев и шероховатость $Ra = 0,63-0,04$ мкм; при горячем – 9-10-я степени точности и шероховатость поверхности зуба $Ra = 2,5-1,25$ мкм [56]. Как правило, при горячем накатывании для повышения точности колеса необходима дополнительная механическая обработка.

Выбор способа накатывания зубьев зависит не только от модуля, но и от конфигурации зубчатого колеса, требуемой точности зубьев и материала заготовки.

Накатывание зубьев в холодном состоянии производится на специальных станках или универсальном оборудовании с помощью специальных приспособлений. Наиболее часто для этой цели используются токарные, токарно-револьверные и горизонтально-фрезерные станки. Накатывание осуществляется с радиальной или осевой подачами накатных роликов или заготовки. Характеристика различных способов холодного накатывания зубьев, схемы обработки, режимы и рекомендуемые области использования хорошо изложены в специальной литературе [32].

При горячем накатывании заготовку нагревают токами высокой частоты до температуры 1000-1200 градусов за 20-30 с до накатывания зубьев. Накатывание производится вращающимися накатниками как с радиальной, так и с осевой подачами на специальных мощных станах. В автотракторостроении в горячем состоянии накатывают зубья конических колес с крупным модулем [41].

Повысить точность зубьев колес с крупными и средними модулями можно, применяя комбинированное накатывание с последующим калиброванием в холодном состоянии. На такое калибрование затрачивается времени в 5 раз меньше, чем на зубофрезерование. Точность зубьев после калибрования соответствует точности обработки зубьев под шевингование.

3.4.2 Основные методы отделки зубьев цилиндрических колес

Зубчатые колеса, от точности и качества поверхности которых во многом зависят бесшумность, плавность и долговечность работы механизмов, после нарезания подвергаются отделочным операциям. Как правило, отделочная обработка применяется для колес, имеющих 6-7-ю степени точности и шероховатость боковых поверхностей зубьев $Ra = 2,5-0,8$ мкм. Для незакаленных зубчатых колес отделочную обработку выполняют шевингованием, прикатыванием, приработкой. Для закаленных колес применяют зубошлифование, зубохонингование, зубопритирку, прикатывание, приработку. К отделочным операциям относятся также зубозакругление, снятие фасок и заусенцев.

Зубошевингование является эффективным методом чистовой обработки цилиндрических зубчатых колес наружного и внутреннего зацепления, твердостью не более HRCЭ 40. Инструментом является шевер, который представляет собой зубчатое колесо или зубчатую рейку. На поверхности зубьев шевера имеются канавки от головки до ножки (рисунок 3.2). Канавки образуют многочисленные режущие кромки. Шевер для прямозубых колес имеет косые зубья, а шевингование косозубых колес производится шевером с прямым зубом. Принцип шевингования основан на взаимном скольжении зацепляющихся зубьев шевера (1) и колеса (2) при скрещивающихся осях вращения. В процессе зацепления и взаимного осевого перемещения заготовки и инструмента с боковой поверхности зуба колеса снимается волосовидная стружка толщиной 0,003-0,008 мм за один рабочий ход.

Жесткой кинематической связи между шевером и зубчатым колесом нет. Вращение заготовке, как правило, передается от шевера. Процесс выполняется на зубошевинговальных станках с горизонтальной или вертикальной осями (5702, 5712, 5В913, 5А915 и др.). Обычно в процессе шевингования точность зубчатых колес повышается на одну-две степени [49]. Шевингование уменьшает радиальное биение зубчатого колеса, шероховатость и волнистость, но несколько увеличивает погрешность длины общей нормали [56]. В настоящее время различают несколько способов шевингования: параллельное, диагональное, тангенциальное и врезное. Способы отличаются направлением подачи, конструкцией шевера и временем обработки. Более подробно характеристику указанных способов шевингования, достоинства и недостатки можно найти в справочнике [49] и технической литературе [6].

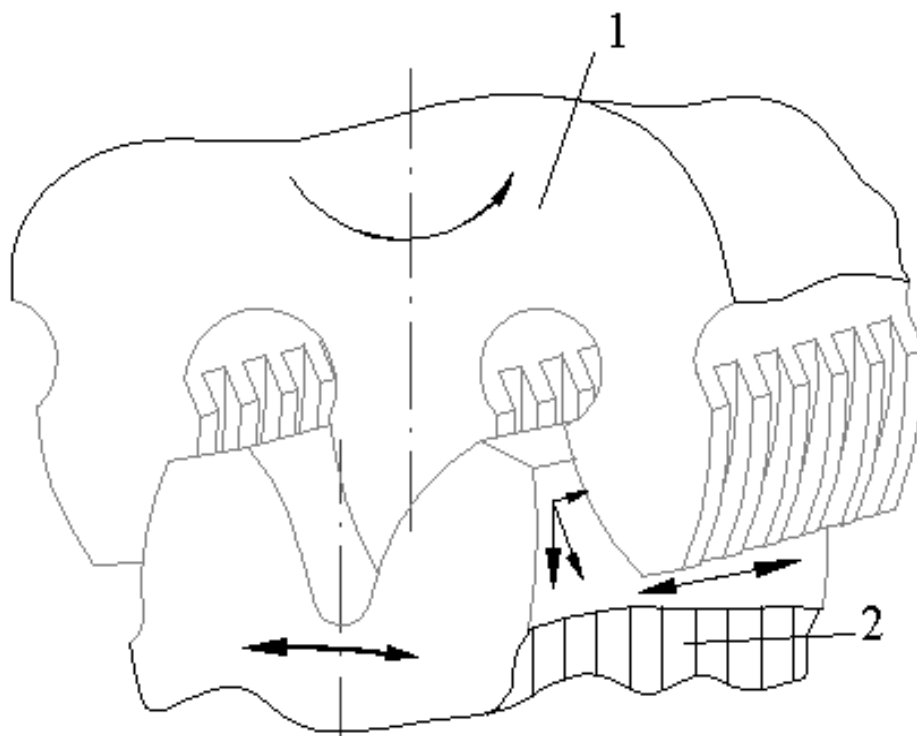


Рисунок 3.2 – Схема шевингования зубьев

В последние годы для отделки незакаленных цилиндрических зубчатых колес с модулем до 4 мм и диаметром до 150 мм вместо шевингования используется холодное прикатывание. В отличие от шевингования окончательная обработка профилей зубьев прикатыванием осуществляется без снятия стружки, посредством пластического деформирования. В процессе прикатывания, обычно двумя накатниками, выполненными в виде зубчатых колес, обкатывают заготовку с предварительно обработанными зубьями. Вращающийся накатник перемещается к заготовке, при достижении беззазорного зацепления начинается процесс прикатывания зубьев с определенным усилием. Расстояние между осями накатников и заготовки постепенно уменьшается до получения требуемого размера зубьев колеса.

Станки для холодного прикатывания изготавливают с одним, двумя и тремя накатниками. Станки, работающие одним накатником, изготавливают на базе шевинговальных станков, а также как специальные станки. В мелкосерийном и единичном производствах прикатывание можно осуществлять на горизонтально-фрезерных станках, оснащенных специальными приспособлениями.

Опыт автомобильных заводов показывает, что обработка цилиндрических зубчатых колес холодным прикатыванием позволяет по сравнению с шевингованием повысить производительность в 4-5 раз, уменьшить шероховатость поверхности, снизить уровень шума, повысить стабильность размеров зубчатого зацепления. Зубья прикатанных колес во время термической обработки вследствие более однородной структуры поверхностных слоев деформируются

меньше, чем шевингованные. На практике прикатывание применяют и для закаленных зубчатых колес с целью удаления окалины, забоин и других дефектов на боковых поверхностях зубьев.

Приработку зубчатых колес производят аналогично прикатыванию, но вместо специального эталонного колеса берется сопрягаемое (парное) зубчатое колесо. После приработки эти колеса поставляют на сборку в паре. Для повышения качества приработки профиля зубьев, кроме вращательного движения, одному из сопрягаемых колес придают дополнительное перемещение вдоль оси. Приработка ведется с применением абразивного материала или без него при обильной подаче масла. С абразивом прирабатываются закаленные зубчатые колеса. Процесс приработки выполняют на зубообкаточных станках, специальных стендах и непосредственно в собранном узле.

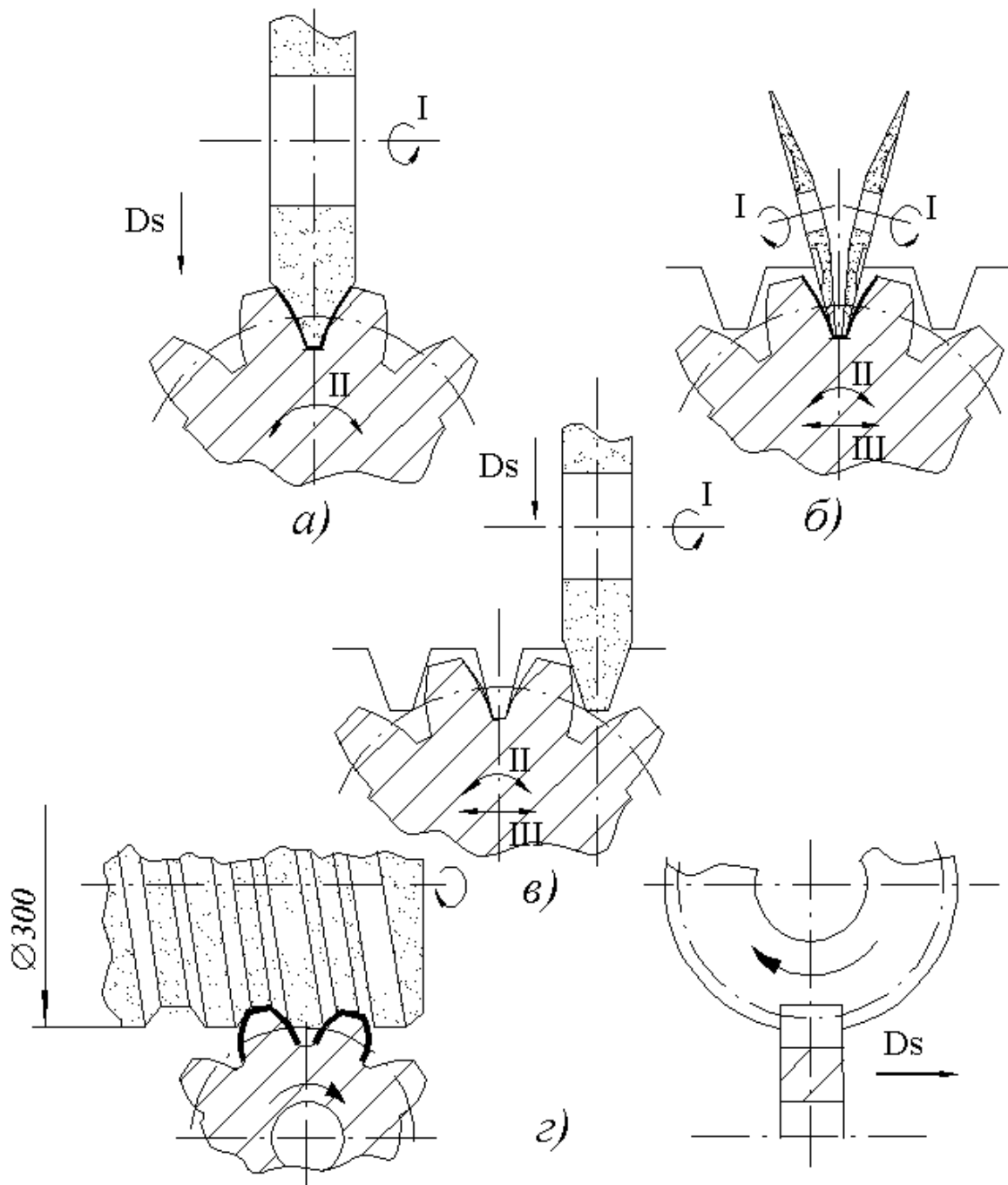
Наиболее надежным, но дорогим и малопродуктивным методом отделки зубьев является шлифование. К главным достоинствам шлифования можно отнести возможность обработки зубчатых колес любой твердости и обеспечение наиболее высокой, по сравнению с другими методами, точности, независимо от точности предыдущей обработки. Шлифование зубьев производят на различных зубошлифовальных станках методами копирования и обкатывания. Шлифование устраняет погрешность эвольвенты и профиля зуба, что способствует повышению долговечности зубчатых колес.

Зубошлифование копированием (рисунок 3.3 а) имеет большую производительность, но является менее точным вследствие неравномерного изнашивания шлифовального круга I, профиль которого соответствует впадине зубьев колеса II. В процессе обработки зубчатое колесо неподвижно, а шлифовальный круг вращается и совершает возвратно-поступательное движение вдоль зуба. После обработки одной впадины шлифуемое колесо поворачивается на один или несколько зубьев. Полный цикл шлифования осуществляется за 3-4 оборота обрабатываемой детали вокруг своей оси. Методом копирования можно обеспечить при шлифовании 6-7-ю степени точности зубчатых колес [6; 56]. Данный метод рекомендуется применять в крупносерийном и массовом производстве

Менее производительным, но более точным является шлифование методом обкатывания с периодическим делением. При шлифовании по данному методу шлифовальный круг (или круги) копирует профиль зубчатой рейки и обкатывается с колесом, повторяя обкатывание зубчатой рейки и колеса. В качестве режущих инструментов используются один круг с коническим профилем (рисунок 3.3 в) или два тарельчатых (рисунок 3.3 б). При шлифовании методом обкатывания с периодическим делением точность обработки зубьев может достигать 5-й степени [56].

Для повышения производительности труда в машиностроении применяют

специальные зубошлифовальные станки с червячными абразивными кругами. Шлифование зубьев абразивным червяком (рисунок 3.3 г) обеспечивает высокую производительность вследствие непрерывности процесса обработки. Этим способом можно шлифовать прямозубые и косозубые цилиндрические колеса. При обработке однозаходным червячным кругом может быть достигнута 4-я степень точности зубьев [56]. Как правило, шлифование абразивными червячными кругами применяют для обработки зубчатых колес с модулем до 5 мм [6].



а – профильным кругом; б – кругом с коническим профилем;
в – тарельчатыми кругами; г – червячным кругом

Рисунок 3.3 – Схемы зубошлифования

Принципы работы станков для шлифования внутренних зубчатых венцов аналогичны таковым для шлифования наружных зубьев цилиндрических зубчатых колес.

Зубохонингование применяют для чистовой отделки зубьев закаленных цилиндрических колес внешнего и внутреннего зацепления. Хонингование зубьев производят на станках, аналогичных шевинговальным, при скрещивающихся осях хона и обрабатываемого колеса, но без механизма радиальной подачи. Станки для зубохонингования изготавливаются как горизонтальной, так и вертикальной компоновки. Для повышения скорости скольжения сопрягаемых профилей заготовке, кроме вращательного, сообщают еще возвратно-поступательное движение вдоль оси. Направление вращения инструмента изменяется при каждом ходе стола. Режущий инструмент – хон – представляет собой цилиндрическое зубчатое колесо с прямыми или косыми зубьями, изготовленное, как правило, из пластмассы и шарживанное абразивом, зернистость которого выбирается в зависимости от требований к шероховатости поверхности.

Зубохонингование может осуществляться двумя способами: с радиальным нагружением, при котором заготовка и инструмент находятся в плотном беззазорном зацеплении; с окружным нагружением, когда заготовка и инструмент установлены с боковым зазором при постоянном межосевом расстоянии. Наибольшее распространение получил первый способ, обеспечивающий изготовление зубчатых колес более высокой точности.

Хонингование позволяет уменьшить шероховатость поверхности до $Ra = 0,32$ мкм, удалить забоины и заусенцы, повысить точность колеса на одну-две степени, снизить уровень шума и повысить долговечность зубчатой передачи [49]. Припуск на обработку хонингованием не оставляется, так как фактически снимается 0,005-0,03 мм на сторону, что находится в пределах допуска на толщину зуба. Зубохонингование требует обильного охлаждения для удаления металлической пыли с обрабатываемой поверхности зуба.

К достоинствам зубохонингования относится отсутствие прижогов и большая по сравнению с зубошлифованием производительность. Именно поэтому процесс зубохонингования получает все более широкое распространение в машиностроении. Однако в процессе зубохонингования погрешности предварительной обработки и неизбежные деформации элементов зубчатого зацепления при закалке устраняются незначительно. Поэтому данный метод применяется только в сочетании с операцией шевингования «сырых» (незакаленных) зубьев.

В ряде случаев при изготовлении зубчатых колес в автомобилестроении вместо зубошлифования для чистовой, окончательной отделки зубьев после их термической обработки применяют притирку. Процесс притирки заключается в

том, что обрабатываемое зубчатое колесо вращается в зацеплении с чугунными шестернями – притирами, смазываемыми пастой, состоящей из смеси мелкозернистого абразивного порошка с маслом. Притирку колес выполняют на зубопритирочных станках, изготовляемых с параллельными или со скрещивающимися осями притиров. Наибольшее распространение получили притирочные станки со скрещивающимися осями, работающие тремя притирами. Притираемое колесо получает вращение попеременно в обе стороны для равномерной притирки обеих сторон зуба, а необходимое давление на боковой поверхности зубьев создается гидравлическими тормозами. Притирка является достаточно производительной отделочной операцией, обеспечивающей лучшую по качеству поверхность зубьев, чем шлифование. Притирка придает зеркальный блеск поверхности, позволяет улучшить плавность работы зубчатых колес и значительно уменьшить шум. К недостаткам данного метода можно отнести незначительное повышение точности элементов зубчатого венца. Как правило, притирка обеспечивает повышение точности зубчатых колес не более чем на одну степень [56].

С целью повышения срока службы переключаемых на ходу передач, а также облегчения входа в зацепление зубчатые колеса должны иметь на торцах зубьев закругления. Форма закругления определяется эксплуатационными условиями, технологическими возможностями и параметрами зубчатого колеса. Операцию зубозакругления выполняют на зубозакругляющих станках. Наибольшее распространение получили способы закругления фасонной концевой и чашечной фрезами [6; 49]. Зубозакругление выполняется после формирования зуба перед зубошевингованием.

В процессе зубонарезания на торцах зубьев зубчатых колес образуются острые кромки и заусенцы, которые ухудшают качество зацепления и снижают срок службы колес. Поэтому у зубчатых колес после зубофрезерования и зубодолбления необходимо снимать фаски и удалять заусенцы.

Анализируя последовательность обработки зубьев цилиндрических колес, можно установить, что наиболее распространенный маршрут обработки зубчатых венцов в автотракторостроении при производстве быстроходных колес 7-й степени точности включает предварительное и чистовое фрезерование, шевингование, термическую обработку и притирку (или хонингование). Зубчатые венцы тяжело нагруженных, быстроходных и точных передач 6-7-й степеней точности обрабатывают по маршруту: предварительное и чистовое нарезание, термическая обработка и зубошлифование, дополняемое иногда притиркой. Колеса 6-й степени точности после термической обработки шлифуют червячными кругами. У зубчатых колес 8-9-й степеней точности зубья нарезают зубофрезерованием и при необходимости подвергают их термообработке. Эту последователь-

ность иногда изменяют, выполняя после чистового фрезерования цементацию, а затем до закалки шевингуют зубья.

3.5 Обработка на многоцелевых станках

Для обработки деталей типа дисков в условиях серийного производства на сегодняшний день довольно широкое распространение получают токарные многоцелевые станки (ТМС). Технологические возможности ТМС позволяют выполнять следующие виды операций при обработке деталей типа дисков:

- обработку различных поверхностей фрезерованием;
- сверление отверстий под произвольным углом к оси детали;
- нарезание резьбы;
- токарную обработку детали с обеих сторон;
- шлифование;
- обработку зубьев.

Большинство ТМС оснащается одной или несколькими револьверным головками, имеющими возможность использования приводного инструмента (см. главу 1), однако более перспективным решением в области обработки деталей типа дисков является использование ТМС, оснащенных инструментальным шпинделем (В-шпинделем) (рисунок 3.4).

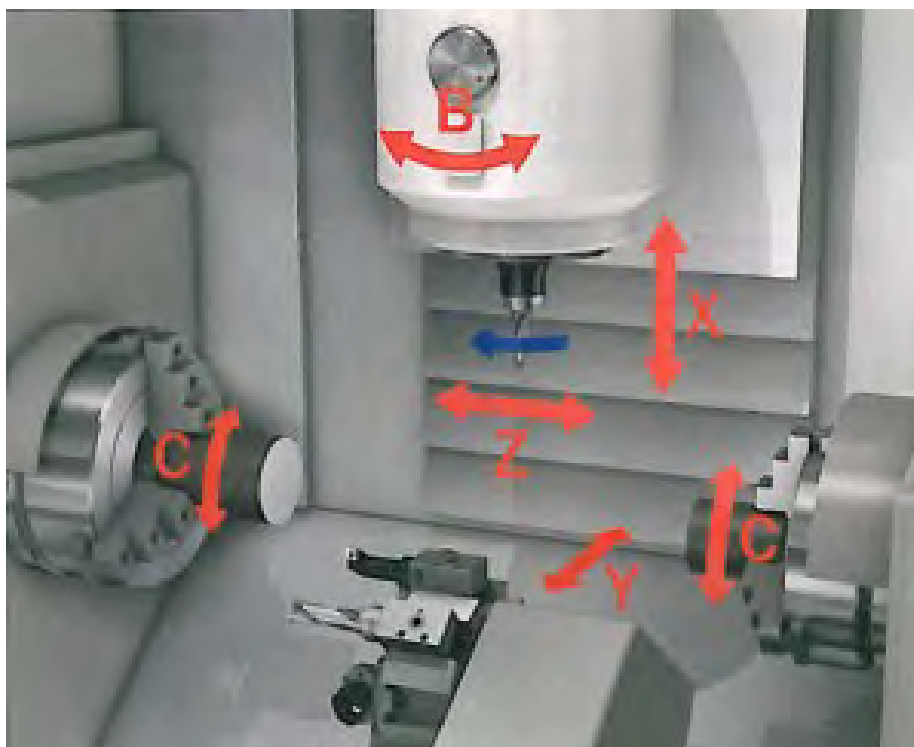


Рисунок 3.4 – Рабочая зона ТМС

Как можно видеть из рисунка 3.4, ТМС, снабженный В-шпинделем, поз-

воляет производить фрезерование и сверление поверхностей, расположенных под углом к оси детали. Рассмотрим возможные способы обработки на ТМС отверстий, скосов, лысок, расположенных под произвольными углами наклона к оси детали. Примеры таких элементов показаны на рисунке 3.5.

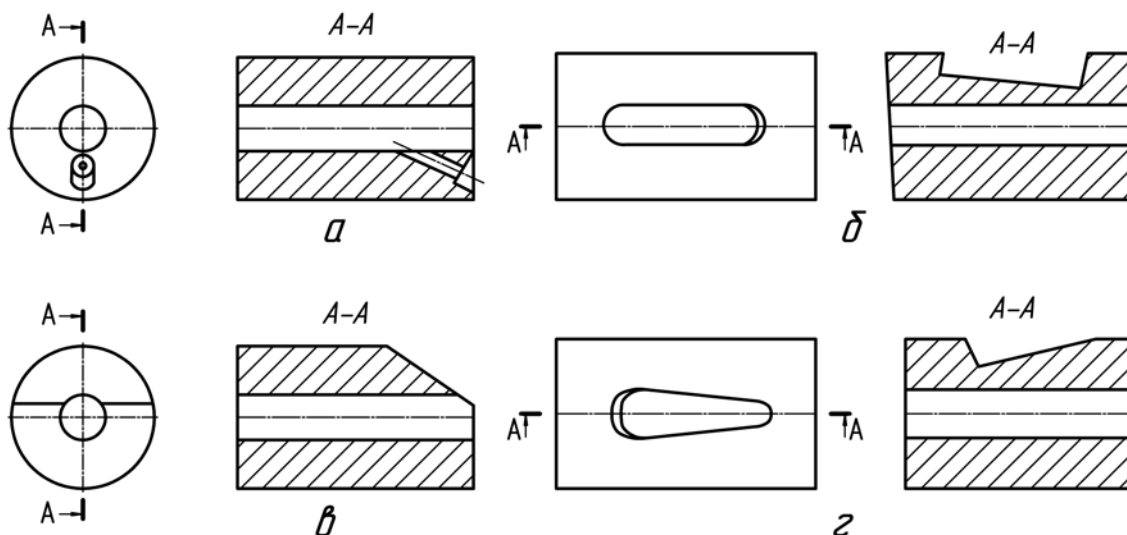


Рисунок 3.5 – Примеры элементов деталей, расположенных под произвольным углом к оси

Схемы обработки элементов, расположенных под углом к оси, с изображением взаимного положения инструмента и заготовки приведены на рисунке 3.6.

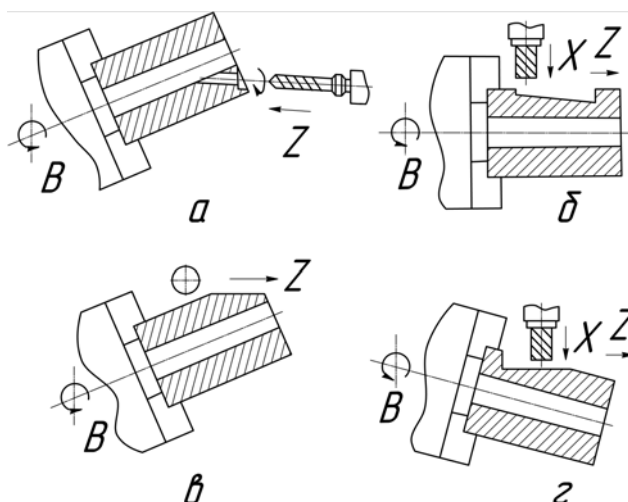


Рисунок 3.6 – Технологические схемы обработки элементов, расположенных под углом к оси

Во всех приведенных случаях необходимо обеспечить расположение оси инструмента под заданным углом к оси заготовки. На ТМС это осуществляется методами, схемы которых представлены на рисунке 3.7 применительно к сверлению отверстия.

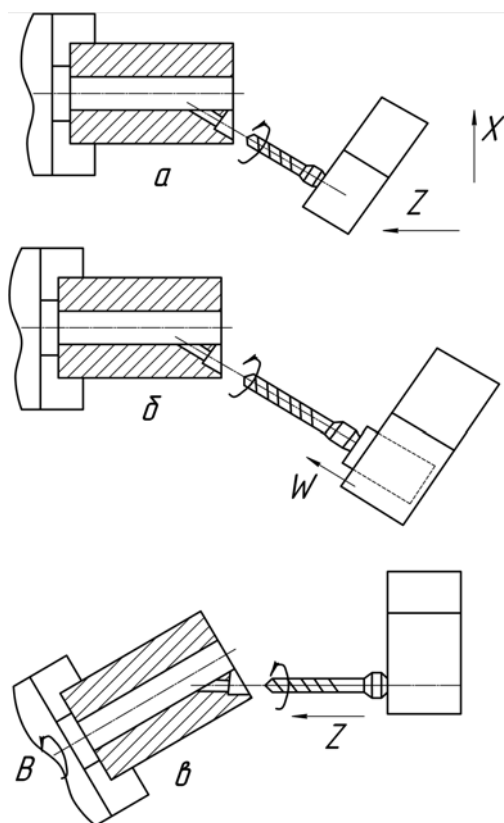


Рисунок 3.7 – Конструктивные методы реализации схем обработки элементов, расположенных под углом к оси

Первый метод (рисунок 3.7 а) реализуется посредством использования специальной оправки, в которой закрепляются вращающиеся инструменты. Ось оправки с инструментом поворачивается под требуемым углом к корпусу оправки и фиксируется. Сверло перемещается одновременно по двум координатам X и Z посредством точной интерполяции. Разворот инструмента производится при помощи поворотной инструментальной головки или разворотом всей инструментальной головки в целом. В конструктивном отношении данный метод наиболее прост, однако недостатком такого метода являются повышенные требования в точности интерполяции (0.001-0.0001 мм). При этом движение в каждый момент времени осуществляется лишь по одной координате, и при малой дискретности перемещений есть большая вероятность поломки инструмента. Особенно велика такая вероятность при сверлении глубоких отверстий.

Следующий метод (рисунок 3.7 б) основан на использовании подвижной пиноли в инструментальной головке, которая обеспечивает движение инструмента вдоль оси отверстия (координата W). Помимо этого инструментальная головка должна поворачиваться на требуемый угол. Данный метод более сложен в конструктивном плане, однако обеспечивает более высокую точность.

Третий метод (рисунок 3.7 в) базируется на использовании поворотной

шпиндельной бабки, которая поворачивает заготовку по отношению к инструменту на требуемый угол. При этом сверление осуществляется движением инструмента по координате Z . Данный метод наиболее сложен в конструктивном отношении, но имеет ряд преимуществ, основным из которых является то, что обработка наклонных отверстий осуществляется простым перемещением вдоль оси Z .

Наиболее часто в практике машиностроительного производства используется второй метод, который реализуется посредством В-шпинделя (рисунок 3.4).

ГЛАВА 4. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

4.1 Назначение и характеристика корпусных деталей

Среди большого разнообразия изделий машиностроительной продукции весьма распространенную группу составляют корпуса, которые служат для размещения отдельных деталей, механизмов и агрегатов. Являясь важнейшими элементами конструкций машин, эти детали должны обеспечивать точность взаимного расположения установленных на них деталей и сборочных единиц как в статическом положении, так и при эксплуатации изделия.

Корпусные детали весьма разнообразны по конфигурации и размерам. По служебному назначению и конструктивным формам они подразделяются на следующие группы [16; 42]:

1 Корпуса коробчатой формы в виде параллелепипеда, габаритные размеры которых имеют одинаковый порядок (корпуса редукторов, коробок перемены передач и т.п.). Детали этой группы, как правило, имеют дополнительные стенки, ребра и перегородки, повышающие их жесткость. Корпуса коробчатой формы выполняются как цельными, так и разъемными. При этом плоскость разъема может проходить по осям главных отверстий.

2 Корпусные детали с гладкими цилиндрическими отверстиями и полостями (блоки цилиндров двигателей и компрессоров, корпуса различных цилиндров и гидрораспределителей, пневмоаппаратуры). В соответствии со служебным назначением к внутренним цилиндрическим поверхностям предъявляются повышенные требования по точности диаметральных размеров и формы. Эти цилиндрические поверхности обычно работают на изнашивание, поэтому к ним предъявляются достаточно высокие требования по шероховатости и износостойкости.

3 Корпусные детали сложной пространственной геометрической формы (корпуса паровых и газовых турбин, центробежных насосов, коллекторов, тройников, вентилях, кранов и т.п.). Сложная пространственная форма таких корпусов предназначена для формирования требуемых потоков движения газов или жидкостей. К этой группе относятся также корпусные детали автомобилей, такие как картер заднего моста, корпус поворотного рычага и др.

4 Корпусные детали с направляющими поверхностями (столы, каретки, салазки и т.п.). В процессе работы эти детали совершают возвратно-поступательное или вращательное движения, обеспечивая нормальное функционирование механизмов.

5 Корпусные детали типа кронштейнов, угольников, стоек, крышек и т.п. Эта группа объединяет наиболее простые по конструкции корпуса, которые вы-

полняют функции дополнительных опор для обеспечения требуемой точности относительного положения отдельных механизмов, валов, зубчатых колес.

Необходимо отметить, что деление деталей на группы является условным, так как некоторые из них затруднительно отнести к определенной группе, и они применяются лишь для удобства пользования общими технологическими решениями.

Для корпусных деталей характерно наличие систем точно обработанных основных отверстий, координированных между собой и относительно плоскостей, крепежных систем и других мелких отверстий. Для корпусных деталей коробчатого типа характерно наличие развитых плоских поверхностей и основных отверстий на нескольких осях. Эти детали часто выполняются разборными в диаметральной плоскости основных отверстий (например, корпуса коробок передач гусеничных машин) или с отъемной крышкой, на которой монтируют вторую опору вала (например, корпуса раздаточных коробок колесных машин). У деталей фланцевого типа плоские поверхности обычно являются торцевыми поверхностями основных отверстий.

В соответствии с целевым назначением корпусные детали должны обладать следующими свойствами: прочностью, жесткостью, герметичностью, виброустойчивостью, долговечностью.

Прочность является основным критерием работоспособности для корпусных деталей, подвергаемых большим нагрузкам, главным образом ударным и переменным. Для большинства корпусных деталей весьма существенным является критерий жесткости. Повышенные упругие перемещения в корпусах обычно приводят к неправильной работе механизмов, понижению точности работы машин, способствуют возникновению колебаний. Герметичность характеризует непроницаемость стенок и соединений корпусов для сохранения смазки, жидких и газообразных состояний рабочей среды; она является важным требованием, обеспечивающим работоспособность изделий. Долговечность по износу имеет большее значение для корпусных деталей с направляющими или цилиндрами, выполненными как одно целое без накладок или гильз.

При изготовлении корпусных деталей должны быть обеспечены в установленных пределах параллельность и перпендикулярность осей основных отверстий относительно друг друга и плоских поверхностей; соосность отверстий для опор валов; заданные межосевые расстояния; точность диаметральных размеров и геометрической формы отверстий; перпендикулярность торцев осей отверстий; прямолинейность плоских поверхностей.

В зависимости от конструктивного исполнения и сложности к корпусным деталям предъявляются следующие технические требования, характеризующие различные параметры их геометрической точности [7, 17, 34, 38, 42, 53, 56]:

1 Точность геометрической формы плоских поверхностей. Она регламентируется как допуск прямолинейности поверхности в заданном направлении на определенной длине и как допуск плоскостности поверхности в пределах ее габаритных размеров. Для поверхностей размерами до 500 мм отклонение от плоскостности обычно находится в пределах 0,01-0,07 мм, а у ответственных корпусов – 0,002-0,01 мм.

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

3 Точность относительного поворота плоских базирующих поверхностей. Предельные отклонения от параллельности или перпендикулярности одной плоскости от другой обычно составляют 0,015-0,1 мм на 200 мм длины.

4 Точность диаметральных размеров и формы отверстий. Диаметры основных отверстий под посадку подшипников соответствуют 6-8-му квалитетам. Отклонения формы отверстий (отклонение от округлости в поперечном сечении и конусообразность или изогнутость в продольном сечении) не должны превышать половины допуска на диаметр отверстия.

5 Точность относительного положения осей отверстий. Отклонение от соосности отверстий допускается в пределах половины допуска на диаметр меньшего отверстия; отклонение от параллельности осей отверстий составляет 0,02-0,05 мм на 100 мм длины. Межосевые расстояния в корпусных деталях выдерживают с допусками, обеспечивающими необходимую точность работы собранных в них механизмов. Допуски на межосевые расстояния для цилиндрических зубчатых передач при различных видах сопряжений рекомендуются в пределах от ± 15 до ± 280 мкм. Допуск на пересечение осей конических передач составляет от ± 18 до ± 210 мкм на длине образующей делительного конуса 50-800 мм. Отклонения межосевого расстояния червячных передач при 7-9-й степенях точности и межосевом расстоянии 40-630 мм составляют от ± 30 до ± 210 мкм. У разъемных корпусов несовпадение отверстий с плоскостью разъема допускается в пределах $\pm 0,2$ мм, а при диаметре отверстий более 300 мм – в пределах $\pm 0,3$ мм. Отклонение от перпендикулярности торцевых поверхностей относительно осей отверстия – 0,01-0,1 мм на 100 мм радиуса.

6 Параметры шероховатости плоских базирующих поверхностей $Ra = 2,5-6,3$ мкм, поверхностей главных отверстий $Ra = 1,25-0,16$ мкм, а для ответственных деталей до $Ra = 0,08$ мкм.

4.2 Материалы и методы получения заготовок

Выбор материала для изготовления корпусных деталей предопределяется служебным назначением и условиями эксплуатации изделий. При этом обязательно должно учитываться влияние свойств материала как на конструктивные параметры деталей, такие как прочность и жесткость конструкций, виброустойчивость и износостойкость отдельных поверхностей, так и на технологические факторы, определяющие методы получения и обработки заготовок.

Материалом для изготовления различных корпусных деталей является главным образом серый чугун, значительно реже углеродистая сталь. В отдельных случаях используются ковкий чугун, легированные стали и сплавы из цветных металлов. Достоинством серого чугуна является то, что он обладает хорошими литейными свойствами, позволяющими получать отливки сложной конфигурации. К тому же он хорошо обрабатывается и имеет достаточно высокие физико-механические свойства; способствует гашению вибраций.

Корпусные детали, не подвергающиеся ударным нагрузкам, действию растяжения и изгиба, изготавливают обычно из серого чугуна СЧ15, СЧ18, СЧ20 и СЧ21 (корпуса сельскохозяйственных и подъемно-транспортных машин, стационарных редукторов, центробежных насосов, трубопроводной арматуры и т.п.). Для малонагруженных деталей типа крышек, плит применяют чугун СЧ12. Корпусные детали с направляющими, к которым предъявляются повышенные требования по износостойкости, изготавливают из серого чугуна СЧ21 и модифицированного чугуна марок СЧ32, СЧ35. Для тонкостенных корпусов применяют чугуны с повышенным содержанием фосфора и кремния. Корпуса высоконапорных насосов, компрессоров изготавливают из чугуна повышенной прочности СЧ24, СЧ28 или из стали. Детали, работающие в условиях вибрации и значительных статических или динамических нагрузок, изготавливают из стали 35Л (станина ротора, рама лебедки) или высокопрочного чугуна СЧ25 (блок-картер компрессора). Корпусные детали типа плит делают из сталей 30Л, 40Х, 12ХН3А. Детали, работающие в условиях действия агрессивных сред, изготавливают из легированных, коррозионно-стойких сталей и сплавов (3Х13, 3Х18Н10Т, 12Х18Н9Т, 20Х23Н13), цветных металлов и их сплавов. Для изготовления корпусных деталей широко используют алюминиевые и магниевые сплавы АЛ2, АЛ4, АЛ8, АЛ10В, АЛ13, МЛ5, МЛ4 и др. Получение из этих сплавов точных отливок позволяет значительно сократить трудоемкость механической обработки деталей резанием. В настоящее время детали из легких сплавов широко применяются в транспортном машиностроении и авиации.

Сварные конструкции корпусных деталей используют для уменьшения массы и габаритов, а в единичном и мелкосерийном производстве также для

удешевления и ускорения производства. Сварные конструкции корпусов редукторов, деталей типа кронштейнов, угольников, стоек, как правило, изготавливают из листовой низкоуглеродистой стали (Ст.3, Ст.4). Большие перспективы имеют комбинированные (штампосварные и сварнолитые) конструкции корпусных деталей.

Корпусные детали, которые должны иметь минимальную массу, не подвергаются существенным нагрузкам при эксплуатации и не требуют высокой стабильности размеров, успешно выполняют из пластмасс (корпуса переносных и ручных машин, приборов, крышки, кожухи).

В настоящее время заготовки корпусных деталей получают литьем и сваркой. Причем отливки составляют около 95% заготовок [42; 54]. Основными способами изготовления литых заготовок являются литье в оболочковые формы, литье по выплавляемым и выжигаемым моделям. Наибольшее применение в машиностроении получил, благодаря своей универсальности и относительно небольшим расходам на изготовление оснастки, способ литья в песчаные формы. В зависимости от серийности производства и конструктивной сложности заготовок корпусных деталей возможны ручная и машинная формовка. В единичном производстве и при изготовлении особо сложных отливок применяют ручную формовку. Машинная формовка, не требующая рабочих высокой квалификации, рекомендуется для использования в серийном и массовом производстве при получении отливок небольших габаритов. Следует отметить, что машинная формовка по сравнению с ручной обеспечивает более высокую производительность и позволяет получать более качественные однородные отливки со стабильными параметрами точности. В общем случае литьем в песчаные формы обеспечивается получение отливок с шероховатостью поверхности $Rz = 320 \dots 40$ мкм. Однако данный способ литья связан с большим грузопотоком вспомогательных материалов и повышенной трудоемкостью [30]. Перспективным является способ литья в разъемные керамические формы. Данный способ включает элементы литья в песчаные формы, однако имеет и отличия. В частности, формовочный состав представляет собой кашеобразную смесь, состоящую из связующего материала, огнеупорных материалов и отвердителя. Данная смесь хорошо заполняет опоку, не требует уплотнения и сама твердеет на модели. Благодаря мелкозернистым огнеупорным материалам и высокой подвижности смеси отпечаток модели получается очень четким и точным. Данный способ рекомендуется применять для изготовления отливок, когда необходимо сочетать малую шероховатость поверхности и высокую точность размеров [33].

Литье в постоянные металлические формы (кокили) применяют в серийном и массовом производстве отливок из цветных сплавов, стали и чугуна. Отливки, полученные литьем в кокиль, имеют точность размеров в пределах 11-

12-го квалитетов. Параметр шероховатости $Ra = 5-10$ мкм [42]. Литье в кокиль, по сравнению с литьем в песчаные формы, позволяет уменьшить припуски на механическую обработку в 2-3 раза, повысить производительность труда в 4-6 раз, снизить себестоимость литья примерно на 30%, сократить производственный цикл изготовления отливок [23; 42; 53; 54]. Считается, что литье в металлические формы экономически целесообразно при величине партии не менее 300...500 штук для мелких отливок и 30...50 штук для крупных [2].

Литье под давлением по технологическим и экономическим показателям занимает ведущее место среди способов получения отливок малогабаритных корпусных деталей из цветных сплавов на основе алюминия, магния, цинка, меди. Этот способ обеспечивает получение фасонных отливок сложной конфигурации с тонкими стенками и различными по размерам отверстиями в средне-, крупносерийном и массовом производстве. Точность изготовления заготовок соответствует 10-12-му квалитетам, а шероховатость поверхности $Ra = 1,25-5$ мкм [2; 26; 42; 45; 54].

Литье в оболочковые формы одноразового использования, изготавливаемые из химически быстротвердеющих смесей, позволяет получать заготовки простой и средней сложности из различных материалов в условиях серийного и массового производства. Данный способ литья обеспечивает параметр шероховатости $Ra = 2,5-10$ мкм и точность размеров, соответствующую 12-15-му квалитетам [2; 42; 49]. Высокая точность размеров отливки в ряде случаев позволяет исключить механическую обработку отдельных поверхностей. Литье в оболочковые формы применяют главным образом при получении ответственных фасонных отливок, таких как ребристые цилиндры, коленчатые валы для автомобилей, гильзы, звездочки, зубчатые колеса и т.д.

Литье по выплавляемым моделям является прогрессивным способом получения точных и сложных по форме отливок из любых литейных сплавов. Литейная форма для этого способа представляет собой неразъемную тонкостенную, прочную, негасящую, высокоогнеупорную с гладкой рабочей поверхностью оболочку. Модель отливки не имеет разъема, ее контуры полностью повторяют форму детали. Перед заливкой формы модель не извлекается, а металл через литник заливается непосредственно на модель, которая под действием тепла уничтожается, освобождая полость формы. Полученная таким образом по однократно используемой модели отливка точно соответствует конфигурации модели. Данный способ позволяет получать отливки массой от нескольких граммов до 130 кг, однако оптимальная масса отливок находится в пределах 0,2-12 кг. Точность размеров и параметры шероховатости поверхности отливок колеблются в довольно больших пределах и зависят от условий изготовления отливок, их массы, сложности, габаритных размеров и толщины стенок отливок.

В общем случае рассматриваемый способ обеспечивает точность размеров в пределах 11-14-го квалитетов и параметр шероховатости поверхности $Ra = 2,5-12,5$ мкм [2; 24; 45]. Литье по выплавляемым моделям используется в крупносерийном производстве мелких, но сложных и ответственных деталей, с высокими требованиями к точности размеров и шероховатости поверхности. Особенно эффективно применение данного способа литья, если требования по шероховатости поверхности и точности размеров литых деталей могут быть обеспечены в литом состоянии без последующей механической обработки, а также для деталей сложной конфигурации, которые нельзя изготовить как одно целое никакими иными способами [2; 53].

Разновидностью литья по выплавляемым моделям является способ получения отливок по выжигаемым (газифицируемым) моделям, запатентованный в ФРГ [25]. В соответствии с патентом модель изготавливается из пенопласта или пенополистирола и при заливке металла в форму газифицируется. Способ достаточно экономичен и в настоящее время применяется в серийном производстве.

Сварные (штампосварные или сварнолитые) заготовки корпусных деталей изготавливают в тех случаях, когда целые заготовки (отливки, штамповки) выполнять неэкономично вследствие небольшого объема выпуска изделий или нетехнологичности конструкции детали; трудоемка и сложна механическая обработка отдельных частей заготовки; некоторые части заготовки выполнены из более дорогих и дефицитных материалов [53]. Отдельные элементы сварной заготовки после необходимой механической обработки сваривают. В основном используют дуговую, контактную, электрошлаковую сварку и сварку трением, которые назначают в зависимости от материала соединяемых частей, конструкции изделия и толщины сварного соединения. Сварные заготовки корпусных деталей предпочтительны в условиях единичного и серийного производства, так как позволяют сократить сроки освоения производства, снизить трудоемкость и себестоимость изготовления заготовок, а также значительно экономить основные материалы [45].

Более подробно с характеристикой различных способов получения заготовок корпусных деталей, достоинствами, недостатками и рекомендациями по эффективному использованию каждого из них можно ознакомиться в технической литературе [2; 23-26; 33; 45; 49].

4.3 Технологичность корпусных деталей

Одним из основных требований к машине, а следовательно, и к ее деталям является технологичность конструкции, под которой понимают степень их соответствия производственным условиям, позволяющим применять техноло-

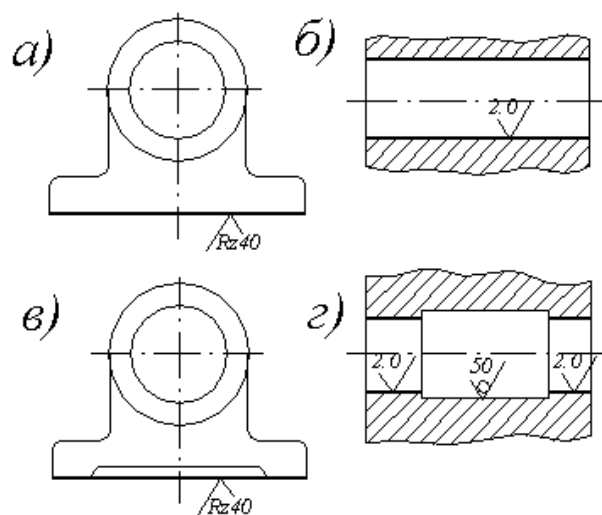
гические процессы, обеспечивающие изготовление деталей с наибольшей производительностью и наименьшей себестоимостью для данного масштаба производства. Технологичной конструкцией считается та, которая в большей степени отвечает требованиям прогрессивной технологии. Это в равной степени относится к выбранному материалу детали и ее термической обработке, к геометрической форме, точности механической обработки и шероховатости поверхности.

Для объективного суждения о технологичности машины, ее деталей и сборочных единиц необходимо учитывать ряд факторов, которые определяют технологичность конструкции. К ним относятся [22; 38; 51]: а) выбор таких форм деталей, которые обеспечили бы возможность изготовления заготовок с наименьшими припусками и наименьшим количеством обрабатываемых поверхностей с применением наиболее прогрессивных методов обработки; б) наименьшая масса; в) повышенная жесткость конструкции, обеспечивающая назначение увеличенных режимов резания; г) доступность обрабатываемых поверхностей для режущего инструмента, а также для наблюдения и контроля в процессе обработки; д) наличие у детали поверхностей, которые могут служить удобными и надежными технологическими базами; е) целесообразная степень точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей, отвечающая требованиям эксплуатации; ж) максимальная унификация отдельных элементов детали (радиусов, фасок, канавок, резьб и т.д.).

Исходя из основного эксплуатационного назначения и учитывая необходимость максимального снижения трудоемкости, при проектировании корпусных деталей следует соблюдать следующие технологические требования [18; 22; 31; 34; 38; 51; 52]:

1 В литых, штампованных и сварных корпусах свободные (нерабочие) поверхности желательно всюду, где возможно, оставлять без механической обработки.

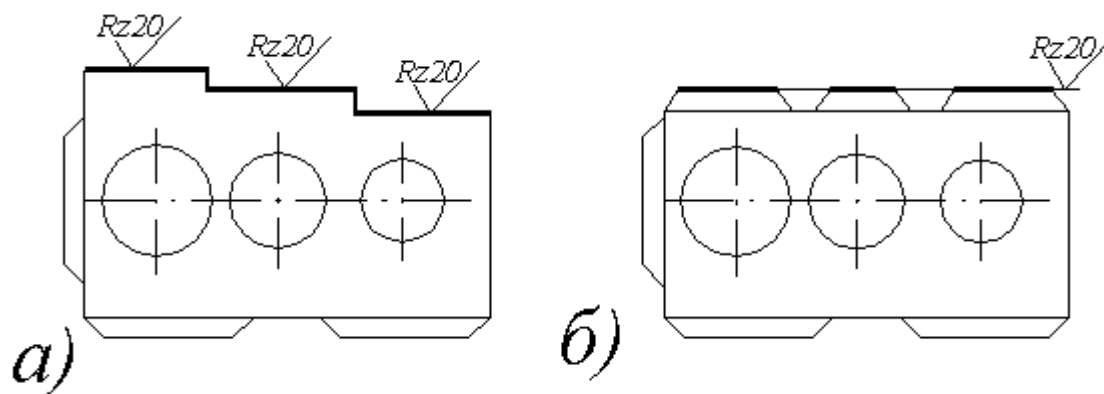
2 Поверхности большей протяженности, требующие механической обработки, следует прерывать необрабатываемыми участками, получаемыми в заготовках, если это допустимо по условиям прочности (рисунок 4.1).



а, б – нетехнологичные конструкции; в, г – технологичные конструкции
 Рисунок 4.1 – Примеры уменьшения протяженности обрабатываемых поверхностей

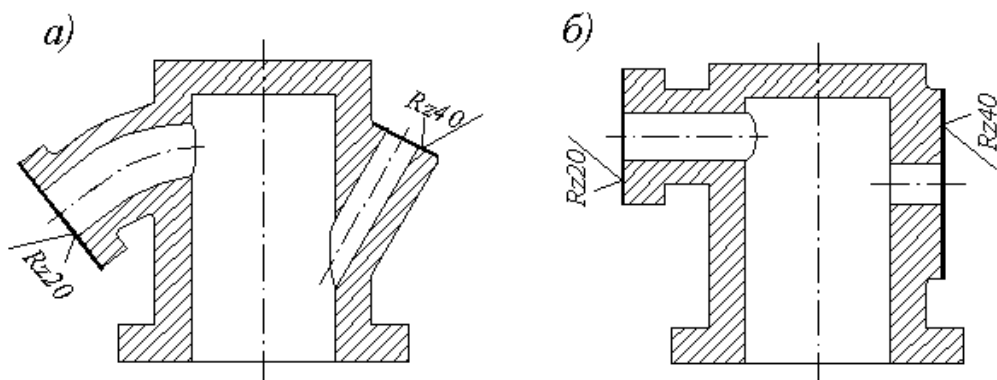
3 Чтобы исключить деформации корпуса при закреплении и обработке, необходимо в заготовках, особенно сварных конструкциях, предусматривать ребра жесткости.

4 Поверхности, подлежащие обработке резанием и находящиеся с одной стороны детали, целесообразно располагать в одной плоскости, что позволяет вести обработку на проход (рисунок 4.2).



а – нетехнологичная конструкция; б – технологичная конструкция
 Рисунок 4.2 – Пример рационального расположения обрабатываемых плоскостей

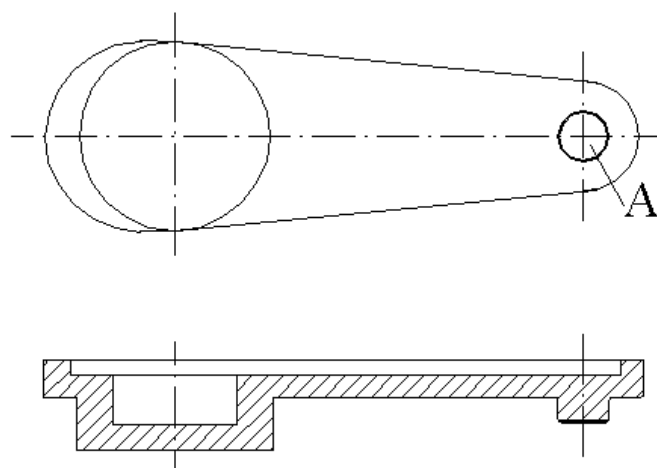
5 Следует избегать расположения обрабатываемых поверхностей наклонно относительно основных осей детали (особенно под разными углами), так как это усложняет обработку и конструкцию приспособления (рисунок 4.3).



а – нетехнологичная конструкция; б – технологичная конструкция
 Рисунок 4.3 – Примеры различного расположения обрабатываемых поверхностей относительно основных осей

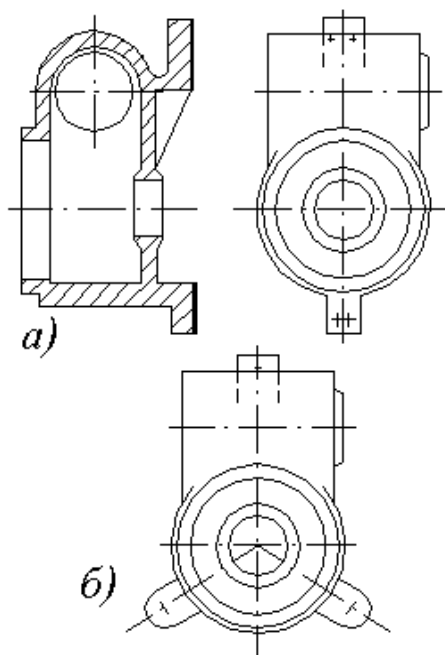
6 Корпусные детали должны иметь хорошо развитые поверхности, выбираемые в качестве технологических баз, чтобы обеспечить надежную ориентацию и жесткое закрепление детали. В случае отсутствия надежных баз в конструкции детали следует предусматривать специальные приливы, которые желательно не удалять в готовой детали, если это допустимо по условиям ее эксплуатации (рисунок 4.4). Базировать деталь при ее обработке желательно на три опоры, определяющие собой установочную плоскость (рисунок 4.5).

7 В конструкциях корпусных деталей следует избегать глубоких отверстий (длина которых превышает восемь диаметров), особенно в том случае, когда обрабатываемой детали нельзя сообщить вращение. Известно, что вращение детали относительно оси сверления способствует прямолинейности оси отверстия. Особо точные отверстия должны быть сквозными, гладкими и допускать, по возможности, обработку на проход.



А – прилив

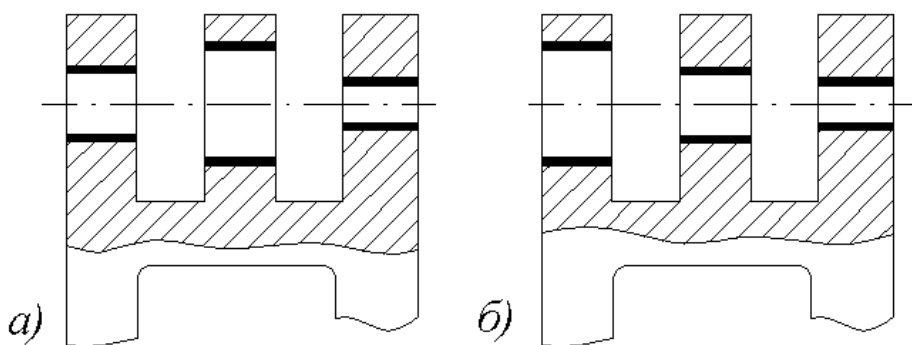
Рисунок 4.4 – Введение прилива в конструкцию детали для улучшения ее технологичности



а – нетехнологичная; б – технологичная

Рисунок 4.5 – Конструкции детали с различным количеством опорных поверхностей

Соосные цилиндрические отверстия должны быть убывающими по диаметрам в одном направлении, это облегчает получение максимальной соосности (рисунок 4.6). Если это невозможно, то желательно убывание диаметров отверстий с обеих сторон детали к ее средней части.



(а – нетехнологичная конструкция; б – технологичная конструкция)

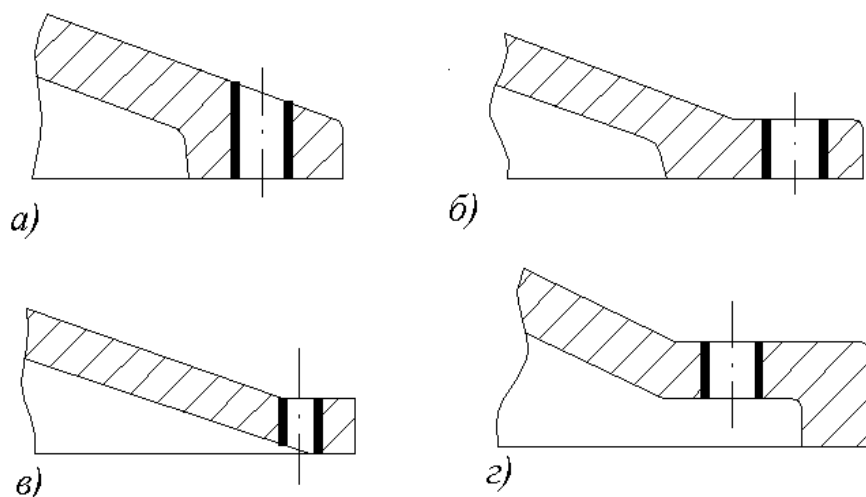
Рисунок 4.6 -Примеры выполнения соосных отверстий:

8 Нежелательно в конструкции корпуса иметь отверстия, оси которых расположены под углом относительно стенки (рисунок 4.7). При этом создаются неблагоприятные условия врезания и выхода инструмента. Глухие отверстия должны иметь форму, соответствующую режущему инструменту (рисунок 4.8).

9 Крепежные отверстия в корпусных деталях должны быть стандартными

по диаметрам и резьбам. Номенклатура их должна быть максимально ограничена. Размеры и расположение крепежных отверстий должны допускать одновременную многшпindleную обработку. Для этого расстояние между осями отверстий должно быть не менее 30 мм.

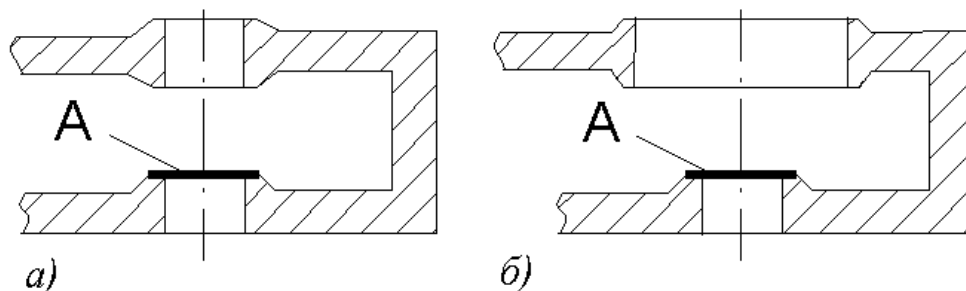
10 Подрезка внутренних торцевых поверхностей в корпусах нежелательна, но если она необходима, следует обеспечить свободный доступ режущего инструмента к месту обработки (рисунок 4.9).



а, в – нетехнологичные конструкции; б, г – технологичные конструкции
Рисунок 4.7 – Примеры возможного расположения отверстий относительно стенок детали

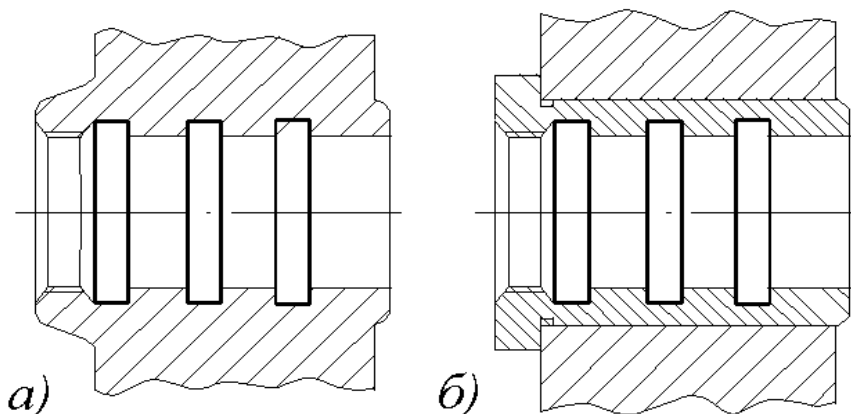


а – нетехнологичная; б – технологичная
Рисунок 4.8 – Примеры конструкции детали с глухим отверстием



а – нетехнологичная; б – технологичная
Рисунок 4.9 – Примеры конструкции детали, требующей обработки внутренней торцевой поверхности А

11 Трудоемким, требующим сложного инструмента, является растачивание кольцевых канавок в отверстиях стенок корпусных деталей. Более технологичной будет конструкция детали с запрессованными втулками, имеющими требуемый профиль (рисунок 4.10).



а – нетехнологичная конструкция; б – технологичная конструкция

Рисунок 4.10 – Примеры выполнения кольцевых канавок

12 Внешняя форма корпусной детали, изготавливаемой в крупносерийном и массовом производстве, должна допускать одновременную обработку нескольких наружных поверхностей путем многошпиндельного фрезерования, а также одновременное растачивание нескольких отверстий.

13 Технологичность конструкции корпусов может быть повышена заменой цельных конструкций штампосварными, сварнолитыми или сварноковаными.

14 Улучшение технологичности конструкций деталей возможно и путем применения материалов, позволяющих упростить процесс их изготовления.

Приведенные правила и рекомендации носят общий характер и предназначены для использования в условиях применения универсальных станков с ручным управлением, полуавтоматов и автоматов, специальных и агрегатных станков. Условия обработки деталей в гибком автоматизированном производстве с использованием станков с ЧПУ (в том числе и многоцелевых станков) предъявляют особые требования к технологичности конструкций. Эти требования обусловлены стремлением снижения времени технологической подготовки производства и изготовления деталей на станках. Трудоемкость технологической подготовки в основном определяется затратами времени на составление, проверку и отладку управляющих программ и зависит от принятого вида системы программного управления станками. Требования к технологичности конструкции обусловлены также особенностями закрепления деталей на станках с возможностью обработки со всех сторон, доступностью обрабатываемых по-

верхностей, сокращением числа смены инструментов, технологическими возможностями станка и другими факторами.

Форма детали должна обеспечивать ее полную механическую обработку от одного комплекта технологических баз и по возможности при одном установе. Выполнение деталей симметричными по форме и размерам или создание местной симметрии отдельных элементов упрощает составление программы, создает возможность сокращения количества необходимых режущих инструментов. Конструкция детали должна быть удобной для закрепления, прихваты не должны затруднять обработку и усложнять траекторию движения инструментов, обеспечивая их доступ к обрабатываемым поверхностям. Увеличение жесткости заготовки обеспечивает высокую точность и производительность обработки.

Поскольку обработка ведется без поддержки и направления инструмента кондукторными втулками, точно обрабатываемые отверстия следует располагать во внешних стенках детали. Расположение их во внутренних стенках ведет к удлинению инструмента, что снижает точность обработки вследствие малой жесткости инструмента. Если это требование невыполнимо, то внутренние стенки необходимо выполнять как можно ближе к внешним стенкам. Следует унифицировать посадки отверстий, избегать конструкций отверстий, требующих обработки несколькими инструментами (ступенчатых, с кольцевыми канавками, выточками, выемками и т.п.). Конструкция детали должна обеспечивать обработку ее поверхностей минимальным числом типоразмеров режущего инструмента. Часто это требование достигается за счет максимальной унификации отдельных элементов детали (отверстий, резьб, радиусов и т.п.).

4.4 Базирование заготовок

При выборе технологических баз для обработки заготовок корпусных деталей важное значение имеет соблюдение принципов совмещения и постоянства баз. В автоматизированном производстве заготовки корпусных деталей, как правило имеющие достаточно сложную и разнообразную форму, стремятся обрабатывать за небольшое число установов, обеспечивая при этом максимальную концентрацию технологических переходов. Такое построение технологического процесса характерно для станков с ЧПУ, особенно многоцелевых автоматических линий, агрегатных многопозиционных и многошпиндельных станков.

В качестве черновых баз в большинстве случаев используют необработанные, перпендикулярно расположенные плоскости или отверстия и плоскости. Дальнейшее базирование корпусных деталей при их изготовлении осуществляют по различным схемам. Наиболее широкое распространение получи-

ла схема базирования по плоскости, имеющей значительную протяженность, и двум точно обработанным несоосным отверстиям небольшого диаметра, по возможности дальше удаленным друг от друга (рисунок 4.11). Базирование по данной схеме лишает заготовку всех шести степеней свободы и обеспечивает точное фиксирование ее в зажимном приспособлении. На указанных базах следует выполнять черновую и чистовую обработку всех поверхностей, включая точные. При базировании корпусной детали по плоскости и двум отверстиям конструкция приспособления получается простой и, самое главное, обеспечивается достаточно высокая точность обработки. Приспособление имеет форму плиты с тремя установочными платиками и двумя точными пальцами (цилиндрическим и ромбическим). Заготовку закрепляют, прижимая ее к плите. Такая схема широко используется в автомобиле- и тракторостроении для базирования корпусных деталей, так как она обеспечивает возможность использования принципа постоянства баз и целесообразна в условиях обработки корпусных деталей на станках с ЧПУ, включая многоцелевые станки, поточные и автоматические линии.

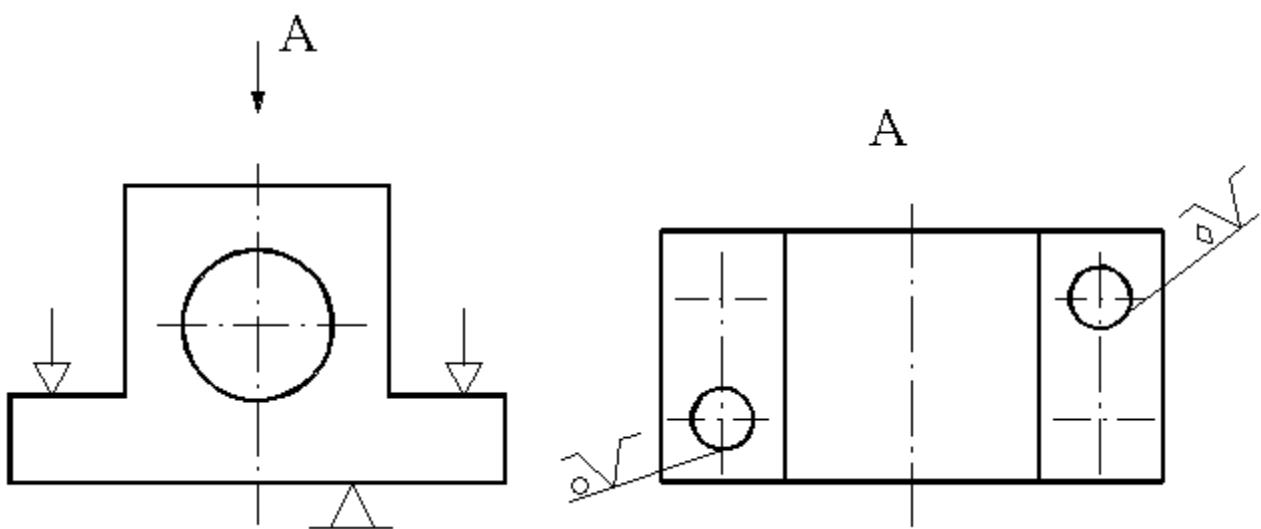


Рисунок 4.11 – Схема базирования по плоскости и двум отверстиям

Разновидностью данной схемы является базирование по двум параллельным плоскостями и по одному отверстию в каждой из них [8].

В ряде случаев, особенно при обработке тяжелых крупногабаритных деталей, которые трудно или невозможно установить на пальцы, корпусные детали базируются по трем плоскостям, образующим координатный угол (рисунок 4.12). Недостатком такой схемы базирования является необходимость смены баз для обработки поверхностей, закрытых зажимными и занятыми установочными элементами приспособлений.

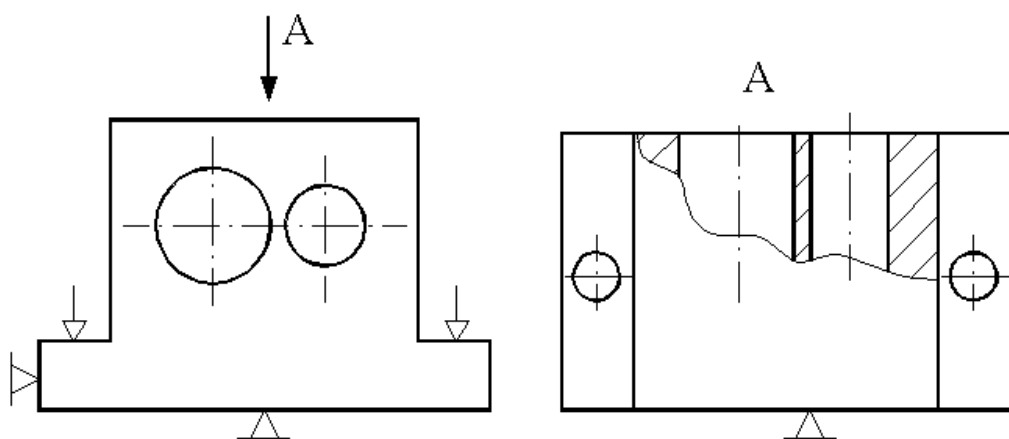


Рисунок 4.12 – Схема базирования по трем плоскостям, образующим координатный угол

Базирование по одной или двум соосным цилиндрическим и одной плоской поверхности (рисунок 4.13) применяют при обработке заготовок корпусных деталей, имеющих достаточно развитые наружные или внутренние цилиндрические поверхности – детали фланцевого или трубчатого типа (корпуса центробежных насосов, арматуры и т.п.). Для устранения возможности поворота заготовки вокруг оси соосных отверстий необходима дополнительная база, в качестве которой используется либо плоская поверхность (рисунок 4.13 а), либо отверстие малого диаметра (рисунок 4.13 б). Эти схемы достаточно просты и обеспечивают высокую точность установки, достигаемую при применении самоцентрирующихся разжимных оправок, а также равномерность припусков при последующей обработке цилиндрических поверхностей, используемых в качестве технологических баз [53].

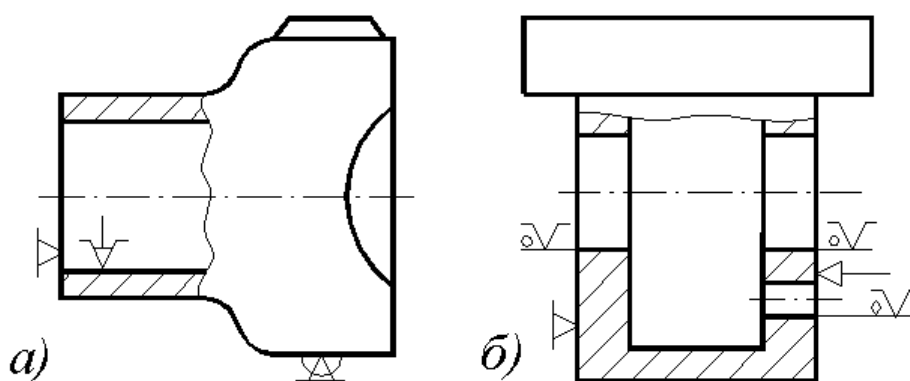


Рисунок 4.13 – Схема базирования по одной (а) или двум соосным цилиндрическим (б) и одной плоской поверхности

Детали с несколькими основными отверстиями достаточно больших размеров целесообразно базировать по двум отверстиям с параллельными осями и

расположенной перпендикулярно к ним плоскости (рисунок 4.14). Такая схема базирования обеспечивает доступность поверхностей для обработки и простоту конструкции приспособления.

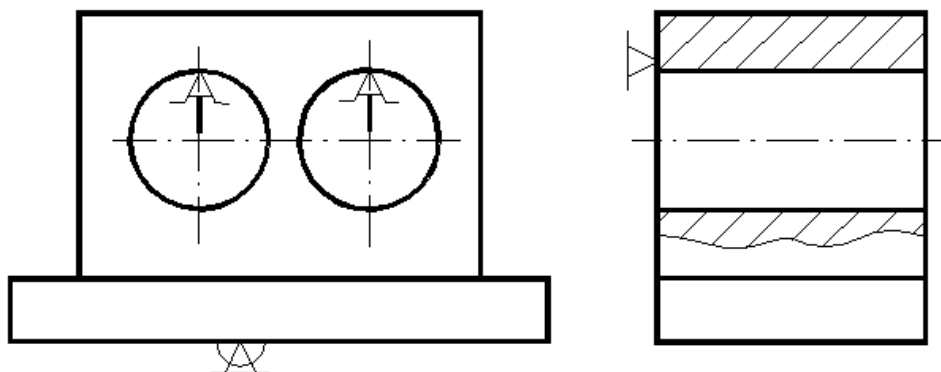


Рисунок 4.14 – Схема базирования по двум отверстиям с параллельными осями и плоскости

В машиностроении используются и другие схемы базирования корпусных деталей, некоторые из них описаны в технической литературе [38; 56].

4.5 Технологический маршрут изготовления деталей

Несмотря на разнообразие конструктивных форм корпусных деталей, размеров и предъявляемых технических требований, в разработке и построении технологического процесса их изготовления имеются общие закономерности. Эти закономерности относятся к задачам выбора технологических баз, определению последовательности обработки поверхностей, необходимого числа переходов по обработке различных поверхностей, к выбору оборудования и формированию операций.

Маршрут изготовления корпусных деталей состоит из следующих основных этапов:

1 Черновая и чистовая обработка плоскости и двух отверстий или трех плоскостей, используемых в дальнейшем в качестве технологических баз.

2 Обработка системы взаимосвязанных плоскостей.

3 Обработка системы взаимосвязанных основных отверстий.

4 Обработка крепежных отверстий.

5 Отделочная обработка плоских поверхностей и основных отверстий.

6 Контроль точности обработки.

В зависимости от используемого оборудования, каждый из этих этапов может состоять из нескольких операций или, наоборот, одна операция может

включать в себя различные этапы обработки, как это имеет место на станках с ЧПУ, и особенно на многоцелевых станках.

Во многих случаях в маршрут включают термические операции старения и отжига между черновой и чистовой обработкой для снятия внутренних напряжений.

Маршрутный технологический процесс изготовления корпусных деталей на станках с ЧПУ разрабатывают с учетом технологических возможностей этих станков (в том числе точности и производительности) и их стоимости. На станках с ЧПУ, которые значительно дороже универсальных станков с ручным управлением, следует выполнять лишь те операции, которые позволяют при обеспечении требуемой точности существенно повысить производительность обработки и её эффективность.

При определении последовательности выполняемых технологических процессов на станках с ЧПУ исходят из задачи достижения требуемой точности при одновременном сокращении затрат вспомогательного времени на замену инструмента и выполнение вспомогательных ходов.

Если корпусная деталь подвергается промежуточной термической обработке или имеет точные отверстия и плоскости, то маршрутный технологический процесс ее изготовления на станках с ЧПУ рекомендуется строить следующим образом [9]:

1 Первая черновая операция – обработка детали с двух-трех сторон (плоскости и отверстия большого диаметра); в качестве технологических баз используют поверхности, обеспечивающие надежное закрепление и возможность производительно снятие припуска.

2 Вторая черновая операция – обработка остальных сторон детали с установкой по обработанным в предыдущей операции поверхностям, создание технологических баз для последующей обработки. В каждой из черновых операций следует стремиться обработать взаимосвязанные плоскости и отверстия для того, чтобы обеспечить правильность их относительного расположения и минимальный припуск на последующую обработку, удалить, по возможности, максимальное количество материала для стабилизации внутренних напряжений.

3 Первая чистовая операция – обработка базовой и противоположных ей плоскостей заготовки и всех элементов (пазов, уступов, отверстий), расположенных на этих плоскостях, в том числе и основных отверстий.

4 Вторая чистовая операция – обработка остальных четырех сторон с установкой по обработанным в предыдущей операции базам, в том числе обработка основных отверстий, пазов, уступов, вспомогательных и крепежных отверстий.

5 На многоцелевых станках достаточно широко используются многоместные приспособления. В этих случаях полная обработка деталей может произво-

даться за одну или две операции, включающие несколько установов.

При требованиях к точности детали, превосходящих точностные возможности станков с ЧПУ, на данных станках выполняют чистовую обработку соответствующих поверхностей с припуском под их последующую отделочную обработку на станках с ручным управлением (алмазно-расточных, хонинговальных и т.д.).

Когда выделение черновой обработки в отдельную операцию на станке с ЧПУ неэффективно, операцию следует выполнять на станках другого типа или объединять ее с операцией чистовой обработки на станке с ЧПУ, например, при обработке небольших несложных и неточных деталей типа рам, плит и кронштейнов.

В гибком автоматизированном производстве, когда обработка ведется преимущественно на многоцелевых станках от одних технологических баз, прерывание процесса между выполнением черновых и чистовых переходов нежелательно. Поэтому выполнение операций искусственного или естественного старения, обеспечивающих снятие внутренних напряжений, рекомендуется выносить в начало технологического процесса, т.е. до поступления заготовки на автоматизированную систему [42].

При разработке технологии изготовления корпусную деталь следует рассматривать как определенный геометрический комплекс элементарных поверхностей, обрабатываемых по типовым технологическим схемам с использованием стандартных циклов. Формируемая при этом на каждом станке с ЧПУ (особенно на многоцелевом) операция представляет собой комплексное сочетание фрезерных, расточных, сверлильных и других переходов.

Содержание операций в маршрутной технологии изготовления корпусной детали на станках с ЧПУ рекомендуется определять по маршрутным технологическим схемам, представляющим собой перечень видов обработки, которые необходимы для получения поверхностей требуемой точности (таблицы 4.1 – 4.3) [9].

Таблица 4.1– Маршрутные технологические схемы обработки отверстий

Тип отверстия	Диаметр, (мм)	Схема обработки при	
		$\Delta o > T_c$	$\Delta o \leq T_c$
С цековкой под винт, болт с цилиндрической головкой	до 30	ЧС	-
С цековкой под винт, болт с потайной головкой	до 15	ЧС	-
С цилиндрической резьбой	до М27	ЧС	-
	свыше М27	ЧР-ЧС	-
12, 13-го квалитетов	до 30	ЧС	-
	св. 30	ЧР	-
10, 11-го квалитетов	до 30	ЧС	-
	свыше 30	ЧР-ЧС	-
8, 9-го квалитетов	до 15	ЧС	ОК
	15-30	ЧС	ЧС-ОК
	свыше 30	ЧР-ЧС	ЧР-ЧС-ОК
6, 7-го квалитетов	до 15	ОК	ОК
	15-30	ЧС-ОК	ЧС-ОК
	св. 30	ЧР-ЧС-ОК	ЧР-ЧС-ОК

Таблица 4.2 – Маршрутные технологические схемы обработки плоскостей

Допуск на размер, определяющий положение плоскости, мм	Схема обработки при				
	$\Delta n > T_c$				$\Delta n \leq T_c$
	Параметр шероховатости поверхности, мкм				
	Rz = 80- 40	Rz = 20	Ra = 2,5	Ra = 1,25	Ra = 2,5 и менее
0,05-0,1	-	-	ЧР-ЧС-ОК	ЧР-ЧС-ОК	ЧР-ЧС-ОК
0,1-0,2	-	ЧР-ЧС	ЧР-ЧС	ЧР-ЧС-ОК	ЧР-ЧС-ОК
0,2-0,4	ЧР-ЧС	ЧР-ЧС	ЧР-ЧС	ЧР-ЧС-ОК	ЧР-ЧС-ОК
свыше 0,4	ЧР	ЧР-ЧС	ЧР-ЧС	ЧР-ЧС-ОК	ЧР-ЧС-ОК

Таблица 4.3 – Маршрутные технологические схемы обработки пазов

Ширина паза, мм	Допуск на ширину паза, мм					
	свыше 0,2		0,1 - 0,2		до 0,1	
	Параметр шероховатости поверхности, мкм					
	Rz = 40	Rz = 20	Rz = 40	Rz = 20	Ra = 2,5	Ra = 2,5
до 30	ЧС	ЧС	ЧС	ЧС	ЧС-ОК	ЧС-ОК
30-50	ЧР-ЧС	ЧР-ЧС	ЧР-ЧС	ЧР-ЧС	ЧР-ЧС-ОК	ЧР-ЧС-ОК
св. 50	ЧР	ЧР-ЧС	ЧР	ЧР-ЧС	ЧР-ЧС-ОК	ЧР-ЧС-ОК

Примечание: Δ_0 – допускаемая погрешность положения отверстий (соосности, параллельности, перпендикулярности); T_c – допуск, характеризующий точность данной технологической системы; Δ_p – допускаемое отклонение от параллельности и перпендикулярности; ЧС – чистовая обработка на станке с ЧПУ; ЧР – черновая обработка на станке с ЧПУ; ОК – окончательная обработка на станке с ручным управлением.

Общая схема выполнения переходов на многоцелевых сверлильно-фрезерно-расточных станках с ЧПУ приведена в справочнике [49] и учебном пособии [9].

4.6 Технология обработки основных и вспомогательных поверхностей

4.6.1 Обработка плоскостей

Плоские поверхности корпусных деталей обрабатывают строганием, долблением, фрезерованием, протягиванием, шабрением, шлифованием, полированием и доводкой. Модели и технические характеристики станков для реализации указанных методов приведены в номенклатурных каталогах металлорежущего оборудования и справочниках [44; 50], а данные по точности обработки и шероховатости – в таблице 4.4.

Строгание и долбление применяются преимущественно в условиях единичного и мелкосерийного производства, а также при обработке крупногабаритных деталей в среднесерийном производстве. Достоинством данных процес-

сов является то, что для их осуществления не требуется сложных приспособлений и инструментов. Однако они малопроизводительны, так как обработка ведется одним или небольшим числом резцов на относительно малых скоростях с большими потерями времени на вспомогательные ходы. Повысить производительность строгальной операции можно, установив несколько резцов на одной державке. Это позволит сократить число рабочих ходов и снять значительно больший припуск за один рабочий ход. Другим путем повышения производительности является одновременная обработка группы заготовок, последовательно установленных в один или несколько рядов на столе станка.

Таблица 4.4 – Классификация основных методов обработки плоских поверхностей [5; 28; 31; 42; 49; 54]

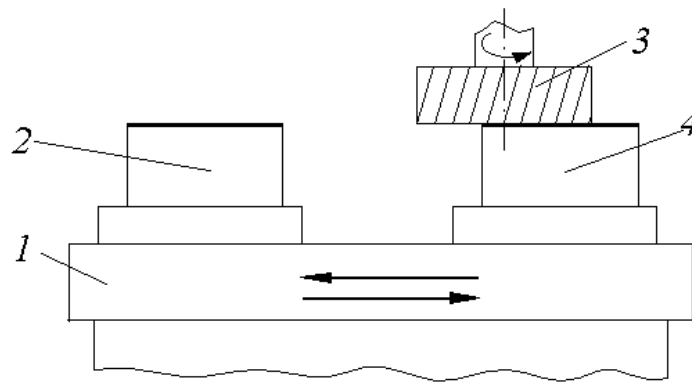
Методы обработки	Квалитет	Параметр шероховатости поверхности Ra, мкм
Строгание и долбление:		
черновое	14-11	25-6,3
чистовое	11-9	6,3-1,6
тонкое	9-7	1,6-0,2
Фрезерование:		
черновое	14-11	12,5-6,3
получистовое	12-10	6,3-3,2
чистовое	10-8	3,2-1,6
тонкое	8-6	1,6-0,2
Протягивание:		
черновое	10-11	6,3-3,2
получистовое	10-9	3,2-1,6
чистовое	9-7	1,6-0,4
Шабрение:		
ручное	7-6	0,63-0,08
механическое	8-7	1,25-0,2
Шлифование:		
черновое	11-8	3,2-1,25
чистовое	8-7	1,25-0,2
тонкое	7-6	0,2-0,05
Полирование:		
предварительное	7-5	0,63-0,16
окончательное	5-4	0,16-0,02
Доводка:		
предварительная	7-6	0,63-0,16
получистовая	6-5	0,16-0,08
чистовая	5-4	0,08-0,02
тонкая	4-3	0,02-0,01

Точность работы на строгальных и долбежных станках обуславливается главным образом квалификацией и опытом рабочего, а также качеством и состоянием станка. Однако в целом при строгании на продольно-строгальных станках обеспечивается высокая точность по прямолинейности обрабатываемых плоскостей, что можно объяснить более высокой жесткостью строгальных суппортов по сравнению с жесткостью фрезерных головок и относительно малыми температурными деформациями в процессе резания. Кроме того, при получении пазов и канавок производительность строгания выше, чем производительность фрезерования. Поэтому строгание достаточно широко применяют при обработке корпусных деталей с направляющими (ползунов, кареток и т.п.) [42].

Долблением обрабатывают поверхности внутренних контуров, когда невозможно или затруднительно выполнять эту операцию на других станках.

Наибольшее распространение при обработке плоскостей получило фрезерование. Высокая производительность, обусловленная непрерывностью процесса резания, позволяет эффективно использовать этот метод для обработки корпусных деталей в различных производственных условиях. В зависимости от типа производства, габаритов изготавливаемых корпусов, характера и расположения обрабатываемых поверхностей используются универсально-фрезерные станки с горизонтальным и вертикальным расположением шпинделей, многошпиндельные продольно-фрезерные станки, барабанно- и карусельно-фрезерные станки, станки с ЧПУ, в том числе и многоцелевые.

В большинстве случаев универсальные фрезерные станки с ручным и числовым программным управлением применяются в единичном и мелкосерийном производстве. Наиболее производительным считается фрезерование торцевыми фрезами, что объясняется достаточно большой жесткостью инструмента, одновременным резанием несколькими зубьями, отсутствием длинных оправок. Однако в некоторых случаях обработку корпусных деталей выполняют также цилиндрическими, дисковыми, концевыми и другими фрезами. С целью повышения производительности путем совмещения основного и вспомогательного времен обработка может производиться по схеме «маятникового» фрезерования (рисунок 4.15) [42; 54].



1 – стол; 2, 4 – заготовки; 3 – фреза

Рисунок 4.15 – Схема «маятникового» фрезерования

Продольно-фрезерные станки различных исполнений используются при обработке крупногабаритных корпусных деталей или для групповой обработки деталей средних размеров в серийном производстве. Наибольший эффект достигается при применении многоместных приспособлений и при работе несколькими инструментами. На рисунке 4.16 а показано последовательное фрезерование трех корпусов 1, уложенных в ряд на столе 2, торцевыми фрезами 3 и 4.

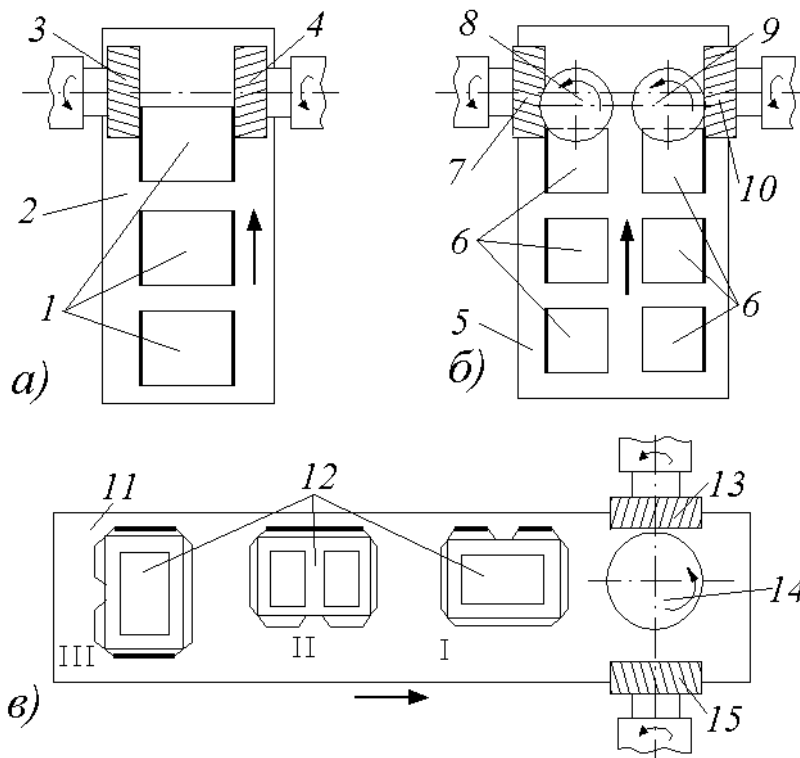


Рисунок 4.16 – Схемы фрезерования на продольно-фрезерных станках

Возможна установка заготовок и в два ряда (рисунок 4.16 б). При движении стола 5 производится последовательная обработка шести заготовок 6 четырьмя фрезами 7, 8, 9, 10, оси которых расположены в двух плоскостях. Эф-

фективным процессом является фрезерование с перекладыванием заготовок (рисунок 4.16 в). Сущность данного процесса заключается в том, что на столе станка 11 устанавливают одно многоместное специальное приспособление, на котором обрабатываемые заготовки корпусных деталей 12 оказываются определенным образом ориентированными относительно режущих инструментов 13, 14, 15. За один рабочий ход стола в каждой позиции соответствующими фрезами обрабатывают одну или несколько поверхностей заготовок. После каждого рабочего хода стола из позиции III снимается полностью обработанная заготовка; заготовки из позиции I и II перекладываются в следующие позиции, а в позиции I устанавливается новая заготовка. При таком построении операции более полно используется станок, устраняется его переналадка и обеспечивается непрерывное питание поточной линии или участка заготовками с законченной фрезерной обработкой. Фрезерование с перекладыванием можно выполнять по схеме однопоточной или двухпоточной обработки. При этом одновременно можно обрабатывать одинаковые или разные заготовки. В последнем случае обычно обрабатывают заготовки сопрягаемых деталей одного комплекта типа крышка-корпус или две половины разъемного корпуса.

В серийном и массовом производствах плоские поверхности корпусных деталей небольших размеров могут обрабатываться на станках непрерывного фрезерования, таких как карусельно- и барабанно-фрезерных, а также агрегатно-фрезерных полуавтоматах и автоматах. На рисунке 4.17 приведена схема фрезерования на карусельно-фрезерном станке.

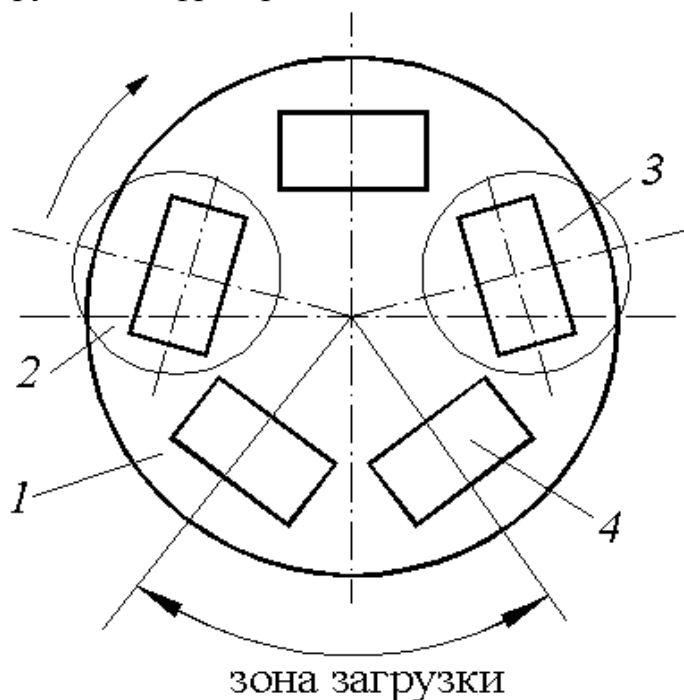


Рисунок 4.17 – Схема обработки на карусельно-фрезерном станке

Данные станки имеют круглый стол 1 большого диаметра и несколько шпинделей с вертикальными осями, на которых устанавливаются торцевые фрезы 2, 3, предназначенные для последовательно выполняемой черновой и чистовой обработки. Заготовки 4 устанавливаются в приспособления, расположенные по кругу стола. Снятие обработанных деталей и загрузка новых заготовок выполняется вне зоны резания и совмещается с процессом фрезерования, который осуществляется при непрерывном вращении стола с движением подачи. Непрерывная параллельно-последовательная черновая и чистовая обработка группы заготовок позволяет добиться высокой производительности, а достаточно высокая жесткость станков способствует получению размеров по 9-12-у квалитетам и шероховатости поверхности $Ra = 3,2-1,25$ мкм [49; 54].

Барабанно-фрезерные станки служат для обработки параллельных плоскостей деталей одновременно с двух сторон (рисунок 4.18).

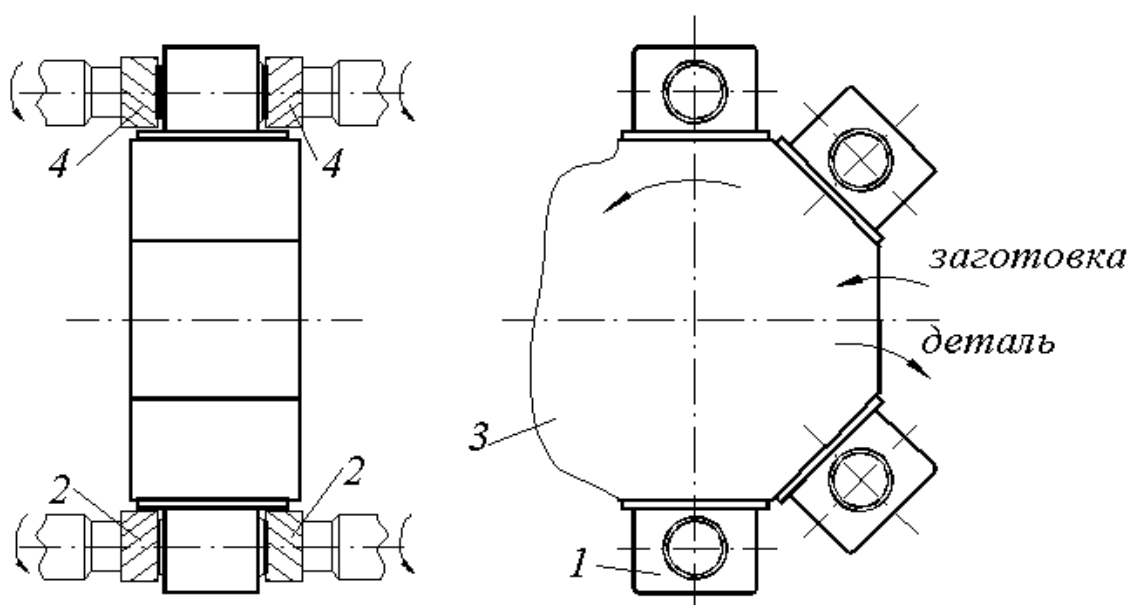


Рисунок 4.18 – Схема обработки на барабанно-фрезерном станке

Заготовки 1, подлежащие обработке, устанавливаются в приспособления, смонтированные на многогранном барабане 3, который непрерывно вращается внутри станины, имеющей порталную форму. Барабан может иметь от четырех до восьми граней, что соответствует количеству установочно-зажимных приспособлений. Четыре фрезы с горизонтальным расположением осей размещены попарно с двух сторон на многошпиндельных бабках. При вращении барабана фрезы 4 осуществляют черновую, а фрезы 2 – чистовую обработку плоскостей. Общее количество фрез может быть и большим, например шесть или восемь. Снятие деталей после обработки производится в загрузочной зоне, свободной

от фрез, без остановки вращения барабана. По производительности и точности фрезерования данный процесс аналогичен обработке на карусельно-фрезерных станках.

На автоматических линиях плоские поверхности могут обрабатываться торцевыми фрезами с использованием агрегатных продольно-фрезерных автоматов с одной или двух сторон одновременно [34; 38]. Двухшпindelные фрезерные головки 4, расположенные с двух сторон от транспортного устройства (рисунок 4.19), перемещаются влево до упора 1, осуществляя за один рабочий ход черновую и чистовую обработку заготовки 3, зафиксированной в рабочей позиции. Транспортное устройство 2 подает следующую заготовку в рабочую позицию, в это же время фрезерные головки перемещаются вправо и занимают исходное положение. Затем цикл обработки повторяется.

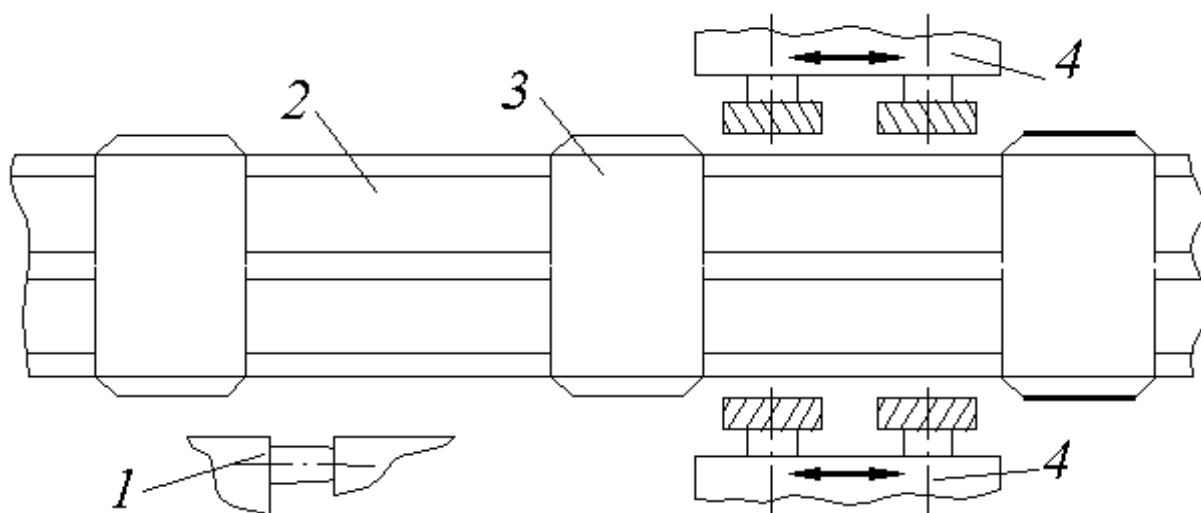


Рисунок 4.19 – Схема обработки на автоматической линии

Протягивание наружных плоских поверхностей является более производительным методом, чем строгание и фрезерование при одновременном обеспечении высокой точности обработки и малой шероховатости поверхности. Благодаря этим преимуществам, протягивание нашло достаточно широкое применение при обработке корпусных деталей, особенно в крупносерийном и массовом производстве. Процесс осуществляется на горизонтальных или вертикальных протяжных станках с прямолинейным и круговым движением инструмента или заготовки. Основные схемы протягивания представлены на рисунке 4.20. Наибольшее распространение получили вертикально-протяжные станки с рабочим движением протяжки 2 сверху вниз относительно неподвижно закрепленной заготовки 1 (рисунок 4.20 а). Основными преимуществами данных станков являются относительно небольшая площадь, необходимая для размещения станка; хорошее охлаждение инструмента во время всего процесса как резуль-

тат совпадения направления движения жидкости и инструмента; высокая производительность. К недостаткам следует отнести большую высоту станка.

Горизонтально-протяжные станки применяют для протягивания крупногабаритных деталей, включая блоки двигателей. Протяжка 3 движется горизонтально, а заготовка 4, как и на вертикально-протяжных станках, закреплена неподвижно (рисунок 4.20 б). При использовании горизонтально-протяжных станков создаются хорошие условия для автоматизации транспортирующих и загрузочных устройств. Однако протяжные станки горизонтального исполнения имеют большую длину и занимают значительную площадь цеха.

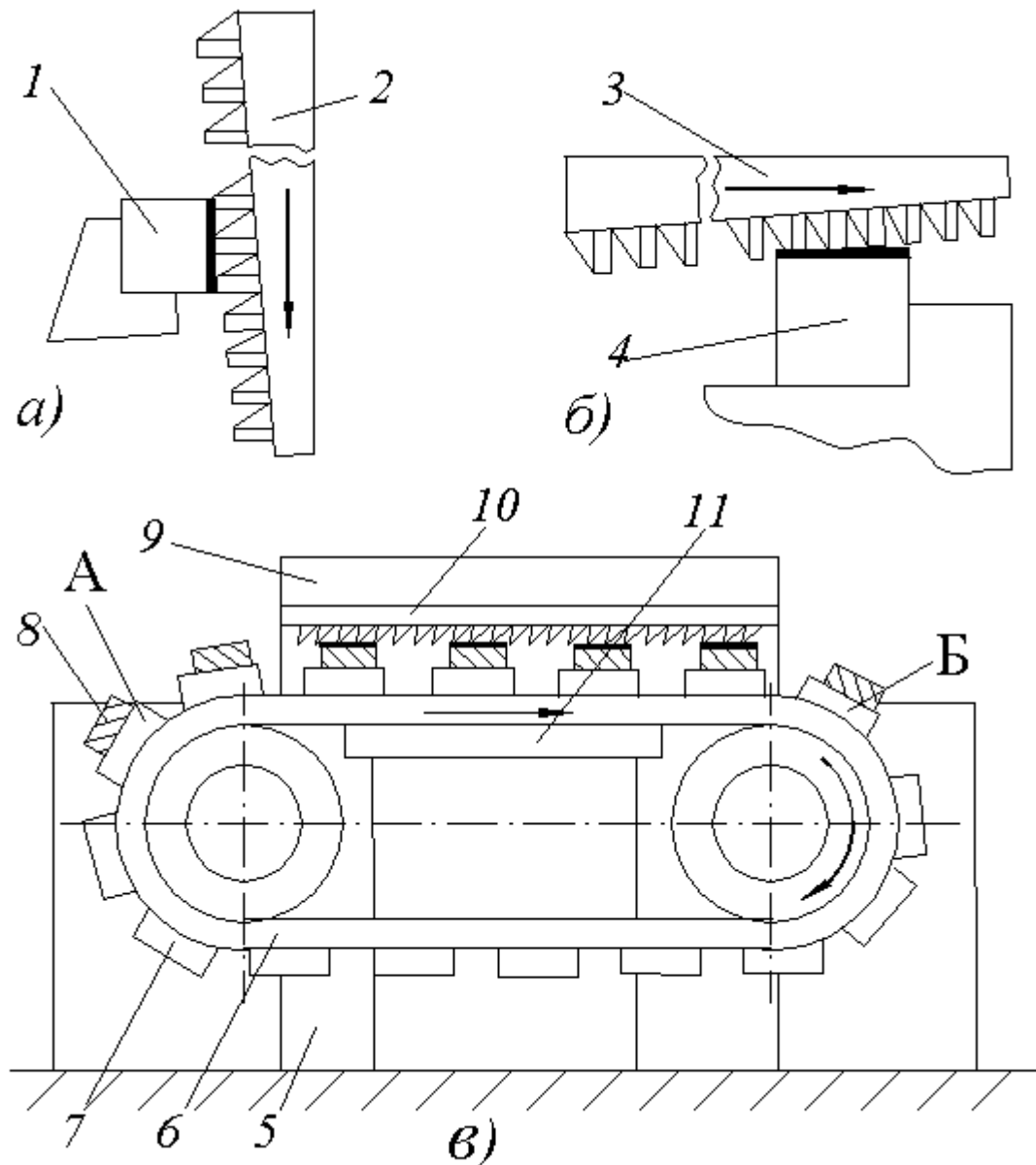


Рисунок 4.20 – Схемы обработки на протяжных станках

В крупносерийном и массовом производстве для обработки небольших деталей применяют высокопроизводительные протяжные станки непрерывного действия (рисунок 4.20 в). На станине 5 коробчатой формы смонтирован непре-

рывно движущийся цепной конвейер 6, на котором размещены приспособления 7 для установки и закрепления обрабатываемых заготовок 8. На станине сверху установлен суппорт 9, на котором закреплена протяжка 10. Под конвейером 6, в зоне прохождения заготовки под протяжкой установлены жесткие направляющие 11, обеспечивающие необходимую жёсткость станка при обработке.

Заготовки базируются и закрепляются в приспособлении на загрузочной позиции А вручную или автоматически. После протягивания обработанные детали снимаются со станка в разгрузочной позиции Б.

Для непрерывного протягивания могут также использоваться специальные протяжные станки карусельного или барабанного типа. К недостаткам специального оборудования для непрерывного протягивания можно отнести его высокую стоимость, оправдываемую только при большом масштабе производства.

Скорость резания при протягивании зависит от вида и твердости обрабатываемого материала, жёсткости детали, длины протягивания и других факторов. При использовании протяжек из быстрорежущей стали, скорость протягивания обычно принимают в пределах от 3 до 12 м/мин. Вместе с тем использование сборных твердосплавных протяжек позволяет в ряде случаев увеличить скорость резания до 60 м/мин [34; 42]. Быстроходные протяжные станки различных исполнений могут встраиваться в автоматические линии.

Протягивание может быть использовано для черновой, чистовой и отделочной обработки наружных плоскостей корпусных деталей. Однако особенно эффективно его применение для обработки комплекта поверхностей, к точности относительного расположения которых предъявляются высокие требования.

Факторами, ограничивающими применение процесса протягивания в машиностроении, являются высокая стоимость режущего инструмента и возникающие при обработке большие силы резания, что исключает возможность обработки нежестких деталей [42; 53].

В единичном и мелкосерийном производствах для обеспечения высоких требований по плоскостности и шероховатости базовых поверхностей применяют шабрение. Обработка ведется с помощью режущего инструмента-шабера вручную или механическим способом. Шабрение вручную является малопроизводительным процессом, требует больших затрат времени и высокой квалификации рабочего, однако обеспечивает высокую точность. Механическое шабрение выполняется на специальных станках, на которых шабер имеет возможность совершать возвратно-поступательное движение. Сущность процесса шабрения заключается в соскабливании шаберами слоев металла толщиной около 0,005 мм для получения ровной поверхности после ее чистовой предварительной обработки [31].

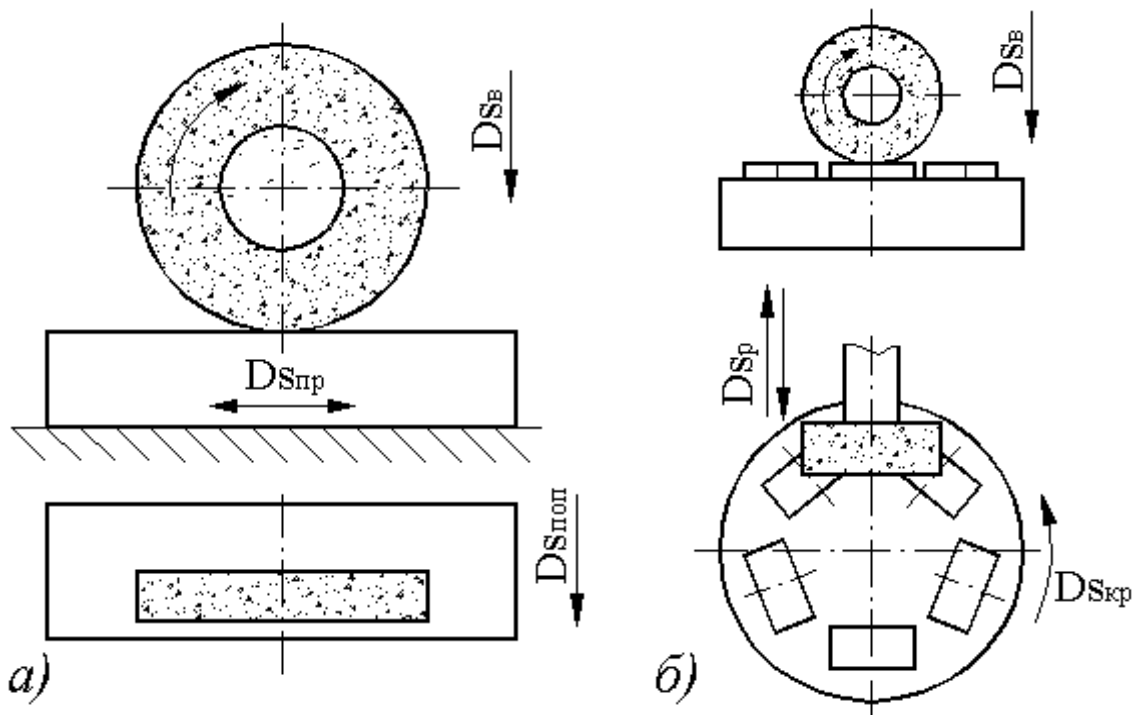
При использовании шабрения не допускается применять шлифование в

качестве предварительной обработки. Объясняется это тем, что после шлифования в поверхностном слое заготовки остаются зерна абразива, что затрудняет шабрение и уменьшает период стойкости инструмента.

Проверка плоскостности обрабатываемых поверхностей производится с помощью контрольной плиты на краску (по числу пятен). Плита покрывается краской и при соприкосновении с обработанной шабрением поверхностью детали оставляет на последней в местах соприкосновения пятна краски. Число пятен на площади $25 \times 25 \text{ мм}^2$ характеризует неровность поверхности. Чем больше пятен, тем точнее обработка.

Плоское шлифование является основным финишным методом обеспечения повышенных требований по точности обработки и шероховатости поверхности корпусных деталей, особенно закаленных. Шлифование выполняется на станках с ручным или числовым программным управлением, работающих периферией или торцом круга. При плоском шлифовании периферией круга обеспечивается наиболее высокая точность обработки и лучшие показатели качества поверхности, однако снижается производительность. Процесс обработки сопровождается выделением относительно небольшого количества тепла и малыми деформациями, поэтому он рекомендуется для шлифования маложестких и тонкостенных деталей. Шлифование периферией круга осуществляется на станках с прямоугольным и круглым столами (рисунок 4.21). Наиболее универсальным является шлифование на станках с прямоугольным столом (рисунок 4.21 а), на которых обрабатываются детали удлиненной формы с буртами, пазами, канавками. Заготовки базируются по плоскости на магнитной плите или в специальных приспособлениях. При данном способе шлифования возвратно-поступательное продольное движение подачи ($D_{спр}$) и прерывистое движение поперечной подачи ($D_{споп}$) совершает заготовка или шлифовальный круг. Вертикальное движение подачи круга ($D_{св}$) осуществляется периодически до достижения необходимой глубины резания. Перемещение круга происходит в крайнем положении стола по мере обработки всей плоскости. Если ширина заготовки меньше ширины круга, то вертикальное движение подачи осуществляется на каждый двойной ход заготовки.

Плоское шлифование периферией круга на станках с круглым вращающимся столом (рисунок 4.21 б) является более производительным, чем обработка на станках со столом прямоугольного типа. Круговое движение подачи ($D_{скр}$) обеспечивается вращением стола, а радиальное ($D_{сп}$) – перемещением шпинделя с кругом или перемещением стола в направлении оси вращения шпинделя. По мере снятия определенной части припуска шлифовальный круг, находясь вне зоны обработки, периодически перемещается в вертикальном направлении ($D_{св}$).

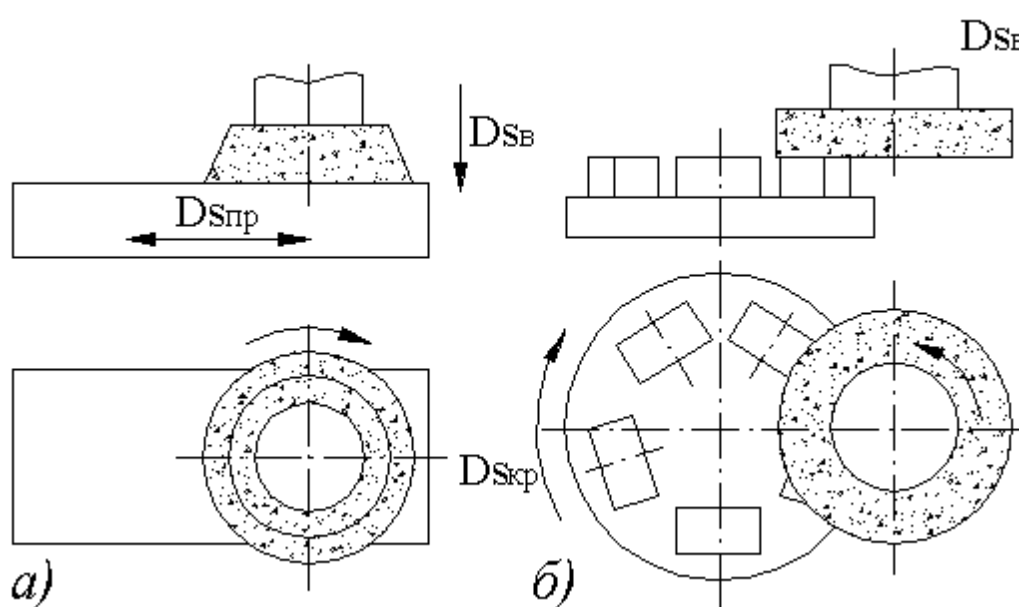


а – с прямоугольным столом; б – круглым столом

Рисунок 4.21 – Схемы плоского шлифования периферией круга на станках

Если на станках с возвратно–поступательным движением стола его скорость обычно не превышает 10 м/мин, то на станках с круглым столом скорость вращения стола может достигать 20-30 м/мин, что особенно важно при шлифовании закаленных деталей, склонных к прижогам и трещинам [49]. Поэтому при обработке больших партий однотипных заготовок небольших габаритов целесообразно использовать станки с круглым столом, а при шлифовании крупногабаритных деталей в условиях единичного и серийного производства – станки с прямоугольным столом.

Плоское шлифование торцом круга также может осуществляться на станках с прямоугольным и круглым столами (рисунок 4.22).



а – с прямоугольным столом; б – круглым столом)

Рисунок 4.22 – Схемы плоского шлифования торцом круга на станках

Но в отличие от резания периферией круга при торцевом шлифовании одновременно участвует в резании большое число режущих элементов зерен. В этой связи при торцевом шлифовании выделяется существенно больше теплоты, что нередко приводит к деформациям, прижогам и трещинам на обрабатываемых поверхностях [4; 49]. Чтобы уменьшить выделение теплоты, применяют сегментные шлифовальные круги на бакелитовой основе и уменьшают поверхность резания наклоном шлифовального круга. При этом на черновых операциях наклон круга значительно больше, чем на чистовых. В том случае, когда к качеству поверхностного слоя обрабатываемой заготовки предъявляются высокие требования, шлифовальный круг наклоняют на незначительную величину.

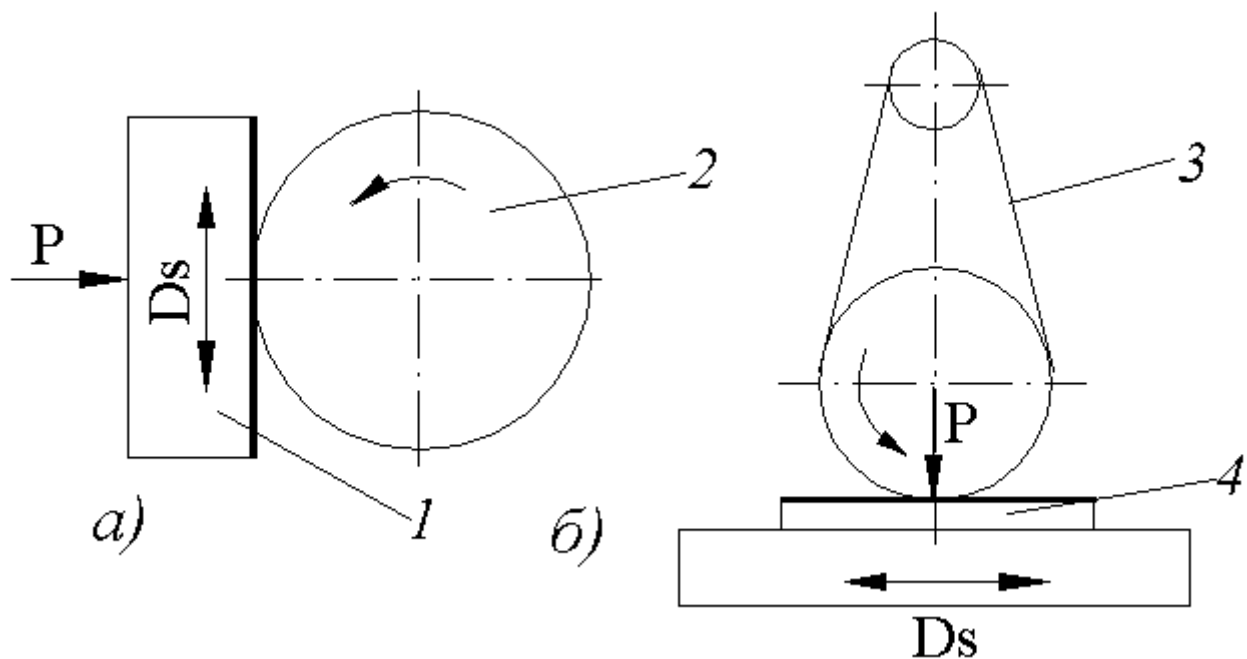
Наиболее производительным является шлифование на станках с круглым вращающимся столом. Обработка может производиться многопроходным и однопроходными методами. При многопроходном шлифовании стол станка получает быстрое вращение с окружной скоростью 15-20 м/мин. Вертикальная подача шлифовального круга (на врезание) осуществляется периодически, за один или несколько оборотов стола. При однопроходном (глубинном) шлифовании стол станка медленно вращается с окружной скоростью 0,5-3,0 м/мин и за один оборот стола снимается весь припуск. При проектировании шлифовальных операций следует иметь в виду, что многопроходное шлифование сопровождается значительно меньшими силами резания и может обеспечить более точную обработку, чем однопроходное шлифование, хотя уступает ему по производительности.

Одним из распространенных методов уменьшения шероховатости обраба-

тываемой поверхности без устранения отклонений формы деталей является полирование. Этим методом шероховатость уменьшают до минимума, придавая зеркальный блеск полируемым поверхностям. Полирование может производиться эластичными (войлочными, фетровыми и др.) кругами, абразивными лентами, абразивно-жидкостной суспензией [4].

При полировании эластичными кругами их шаржируют абразивными зёрнами различной зернистости. Зернистость и вид абразивного материала выбираются в зависимости от требуемой шероховатости поверхности. Для полирования деталей из цветных металлов применяют круги из мягкого войлока. Круги шаржируют пастами требуемой зернистости; связующим материалом служит воск, парафин, жиры. В пасты добавляют активные кислоты для улучшения полирующих свойств.

Для полирования деталей из черных металлов применяют более жесткие круги, чем для обработки деталей из цветных металлов и их сплавов. При полировании эластичными кругами припуск на отделку может составлять 0,005-0,015 мм. Обработка происходит при скоростях до 50 м/с [4; 49]. Заготовка 1, прижимаясь силой P к полировальному кругу 2 (рисунок 4.23 а), совершает движение подачи Ds в соответствии с профилем обрабатываемой поверхности. При ручном полировании окружная скорость круга несколько ниже (до 30 м/с) в связи с высокой температурой в зоне резания и отсутствием охлаждения.



а – эластичным кругом; б – абразивной лентой

Рисунок 4.23 – Схемы полирования

В машиностроении достаточно широкое распространение получило полирование абразивными лентами. Абразивная бесконечная лента 3 вращается на двух или более шкивах с большой скоростью. Заготовка 4 перемещается в направлении, соответствующем профилю обрабатываемой поверхности (рисунки 4.23 а, б).

Скорость съема металла и шероховатость поверхности определяются скоростью резания, зернистостью ленты и силой её прижатия к обрабатываемой поверхности. Скорость ленты может быть различной и зависит от обрабатываемого материала. В условиях единичного и мелкосерийного производства для полирования могут использоваться шлифовальные шкурки на тканевой и бумажной основе разной зернистости. Для отделки заготовок, имеющих сложную конфигурацию (профильных штампов, форм для литья под давлением и т.п.), успешно применяют абразивно-жидкостное полирование.

Абразивная доводка является окончательным методом обработки деталей, обеспечивающим высокое качество поверхностного слоя (параметр шероховатости R_a до 0,05-0,01 мкм, отклонения формы обработанных поверхностей до 0,05-0,3 мкм). Процесс абразивной доводки является сложным процессом удаления припуска с обрабатываемой поверхности заготовки при ее относительном перемещении по поверхности притира в результате действия абразивных зерен. Этот процесс характеризуется одновременным протеканием механических, химических и физико-химических процессов.

Наивысшие параметры качества поверхности достигаются при тонкой доводке притирами, шаржированными зёрнами пасты.

Более подробно с особенностями данного процесса можно ознакомиться в справочнике [49].

4.6.2 Обработка основных отверстий

В зависимости от типа производства, конфигурации и размеров корпусных деталей, технических требований на изготовление и других факторов черновая и чистовая обработка основных отверстий может производиться на горизонтально- и координатно-расточных станках, многоцелевых станках с ЧПУ, токарно-карусельных, вертикально- и радиально-сверлильных станках, агрегатных многошпиндельных автоматах и полуавтоматах.

Конкретные модели станков с ручным и числовым программным управлением, их характеристики и рекомендуемые области использования приведены в номенклатурных каталогах металлообрабатывающего оборудования, справочниках и технической литературе [5; 43; 50; 58].

Отверстия корпусных деталей фланцевого типа обрабатывают на токарно-

карусельных станках. Корпуса небольших и средних размеров в мелкосерийном и среднесерийном производстве могут быть обработаны на вертикально- или радиально-сверлильных станках путем последовательной установки нескольких режущих инструментов (например, сверл, зенкеров, разверток) в быстросменных патронах.

Однако наибольшее распространение получили расточные и многоцелевые станки, а также многошпиндельные полуавтоматы. Отверстия в корпусных деталях обрабатывают с использованием сверл, зенкеров, разверток, резцов, расточных блоков, резцовых головок. Разновидности и характеристики этих инструментов приведены в справочниках [11; 21; 47; 48; 50].

Сверлением получают отверстия в сплошном материале. Обработку отверстий диаметром до 30-40 мм осуществляют спиральными сверлами за один технологический переход, при обработке отверстий больших диаметров (до 80 мм) требуется два и более переходов (сверление и рассверливание). Для сверления отверстий диаметром свыше 80 мм применяют сверла или сверлильные головки специальных конструкций. Для обработки глубоких отверстий используют шнековые, пластинчатые сверла одностороннего резания, эжекторные сверла и специальные сверлильные головки, оснащенные пластинами из твердых сплавов. Сверление и рассверливание отверстий позволяет обеспечить точность диаметральных размеров в пределах 13-9-го квалитетов, а шероховатость поверхности $Ra = 0,8-25$ мкм [49].

Зенкерование отверстий является методом предварительной обработки литых, штампованных или просверленных отверстий под последующее растачивание, развертывание или протягивание. При обработке отверстий точностью по 13-11-му квалитетам зенкерование может быть окончательной операцией [31]. Режущими инструментами при зенкеровании являются зенкеры различных конструкций. Зенкерование является производительным методом, повышающим точность предварительно обработанных отверстий. По сравнению со сверлом многозубый зенкер имеет меньшую склонность к уходу, что позволяет в значительной степени исправить положение оси отверстия и обеспечить его прямолинейность [42].

Растачивание применяют как для черновой, так и для чистовой обработки отверстий корпусных деталей. Преимущества расточных резцов, которые часто оснащаются твердосплавными режущими пластинами, заключаются в их простоте и универсальности, благодаря которой возможно путем регулирования положения инструмента на оправке получать отверстия различного диаметра. Это особенно важно при обработке отверстий большого и среднего диаметров в условиях единичного и мелкосерийного производства, когда в наличии нет мерного режущего инструмента [54].

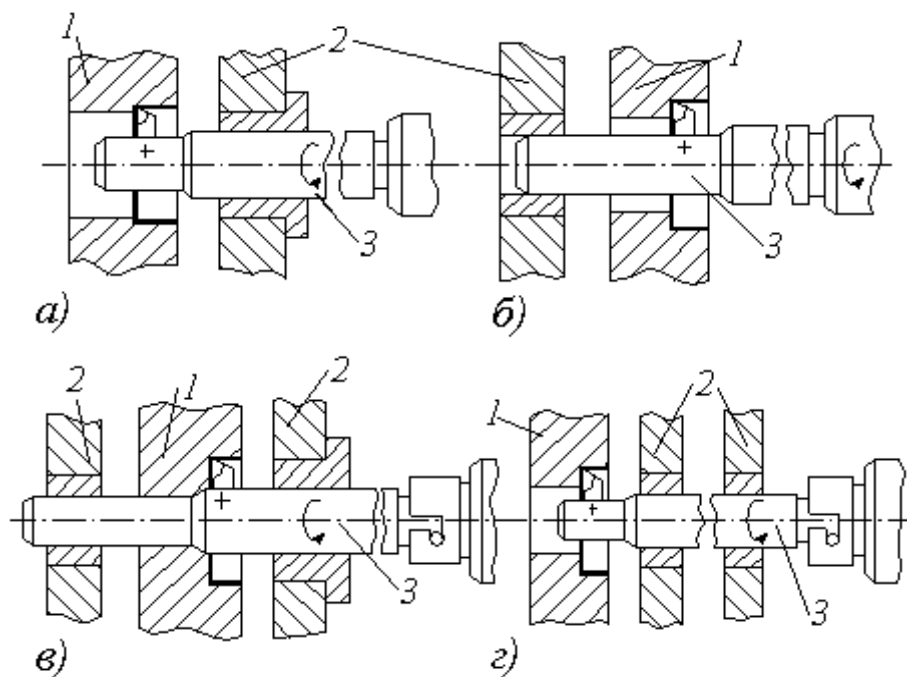
Точность диаметральных размеров соответствует при черновом растачивании 13-11-му квалитетам, при чистовом – 10-8-му квалитетам. Отклонения геометрической формы при чистовом растачивании для отверстий диаметром 50-120 мм не превышают 40 мкм, а параметр шероховатости $Ra = 0,4-25$ мкм [49]. Точность межосевых расстояний и точность положения соосных отверстий относительно баз обеспечивают двумя методами: обработкой отверстий без направления инструмента, с использованием различных способов координации положения инструмента; обработкой с направлением инструмента. Выбор того или иного метода зависит от типа производства, наличия необходимого оборудования и требуемой точности обработки.

В единичном и мелкосерийном производствах растачивание выполняют по разметке. Координатное растачивание на горизонтально-расточных станках производят за один установ заготовки.

При растачивании совмещение оси шпинделя с осью каждого из обрабатываемых отверстий осуществляют перемещением шпиндельной бабки в вертикальном, а стола - в горизонтальном направлениях в соответствии с заранее рассчитанными координатами [34]. Данный метод используется как при обработке на станках с ручным управлением, так и на станках с ЧПУ. Растачивание отверстий координатным методом может выполняться и на координатно-расточных станках, обеспечивающих высокую точность размеров и межосевых расстояний отверстий.

В серийном производстве достаточно широкое распространение получила обработка отверстий в приспособлениях с направлением инструмента кондукторными втулками. На рисунке 4.24 показаны возможные схемы расположения кондукторных втулок, обеспечивающие при обработке отверстий направление расточной оправки: переднее (а), заднее (б), переднее и заднее (в), двойное переднее (г). При направлении инструмента по схемам, приведенным на рисунке 4.24 а и б, расточную оправку соединяют со шпинделем жестко, а по схемам, приведенным на рисунке 4.24 в и г, – шарнирно.

При растачивании с шарнирным соединением оправки со шпинделем геометрические погрешности станка практически не влияют на точность обработки. В этом случае точность обработки определяется точностью приспособления, величиной зазоров между оправками и втулками [34].



1 – заготовка; 2 – приспособление; 3 – расточная оправка

Рисунок 4.24 – Схемы расположения кондукторных втулок при растачивании отверстий

На горизонтально-сверлильных станках растачивание осуществляют в поворотных приспособлениях, имеющих направляющие элементы. Для обработки используют накладные кондукторы, которые устанавливаются на основание приспособления или непосредственно на заготовке. Использование на расточных станках многошпиндельных расточных головок повышает производительность обработки за счет возможности одновременного растачивания нескольких отверстий с параллельными осями.

В крупносерийном и массовом производстве для обработки основных отверстий используются многошпиндельные агрегатно-расточные станки, которые встраиваются в автоматические линии или применяются отдельно. Такие станки могут иметь различные компоновки: их силовые головки имеют возможность перемещаться в вертикальном, горизонтальном или наклонном направлениях [18; 49]. Цикл работы автоматизирован. На агрегатных станках выполняют сверление, зенкерование, растачивание, развертывание цилиндрических и конических отверстий, подрезку торцев, снятие фасок, растачивание различных канавок и нарезание резьбы.

Особенно эффективной, а следовательно и перспективной, важной в условиях мелкосерийного производства, является обработка отверстий корпусных деталей на многоцелевых станках с ЧПУ, оснащенных современными системами управления. Применение поворотных столов на этих станках позволяет последовательно обрабатывать детали большим количеством инструментов с не-

скольких сторон, совмещая в одной операции переходы фрезерования, центрирования, сверления, рассверливания, зенкерования, развертывания, раскатывания отверстий, нарезания резьбы и др. Несомненным достоинством многоцелевых станков является возможность осуществления обработки основных отверстий методом кругового фрезерования концевыми и дисковыми фрезами. Как показывает анализ данных по построению технологических процессов изготовления корпусных деталей [5], круговому фрезерованию в современных условиях отдается предпочтение во всех случаях, когда этот процесс возможен к применению. Ограничениями являются лишь глубина отверстия, сдерживаемая длиной концевых фрез, его диаметр и точность. Особенно успешно круговое фрезерование используется для предварительной обработки отверстий, а также фрезерования кольцевых канавок в этих отверстиях.

На заключительном этапе процесса изготовления корпусных деталей для обеспечения высоких требований по точности обработки и шероховатости поверхности отверстий вводят отделочные операции: развертывание, тонкое (алмазное) растачивание, планетарное шлифование, хонингование, раскатывание, выглаживание, а в отдельных случаях и притирку. Выбор необходимого метода зависит от технических требований, определяемых служебным назначением деталей, их конфигурации, размеров, материала, а также от типа производства.

Развертывание является одним из основных методов финишной обработки небольших отверстий в корпусных деталях и выполняется после предварительной обработки сверлением, зенкерованием или растачиванием. Развертывание обеспечивает получение правильной геометрической формы отверстия, точных диаметральных размеров и параметра шероховатости поверхности $Ra = 6,3-0,4$ мкм [49]. Однако допущенные на предварительных операциях искривления, перекосы или смещения осей отверстий не устраняются. Припуски под развертывание составляют 0,2-0,5 мм на диаметр для предварительного развертывания и 0,05-0,30 мм – для окончательного.

По конструкции развертки могут быть цельными и насадными с ножами из быстрорежущей стали или из твердого сплава [11; 21; 47; 48; 50]. Скорость резания при развёртывании отверстий быстрорежущими инструментами составляет для стальных заготовок 3-18 м/мин, для чугуновых – 2-10 м/мин, для алюминиевых сплавов – 5-30 м/мин [36]. При использовании развёрток с пластинами из твердого сплава скорости резания могут быть увеличены примерно в два раза. Отверстия, точность которых соответствует 9-му качеству, получают однократным развёртыванием, для получения более точных отверстий (8-7-го качества) используют предварительное и окончательное развертывание. Применяя развертки с тщательно доведенными режущими кромками и используя обильное охлаждение, можно получить отверстие точностью 6-го качества [53; 54].

Получение высокой точности размеров и геометрической формы отверстий при развёртывании зависит от точности совмещения осей режущего инструмента и обрабатываемой поверхности, а также от создания надёжного направления развертки. В процессе работы на развертку действуют большие радиальные и незначительные осевые силы. Это означает необходимость самоцентрирования инструмента по оси предварительно обработанного отверстия и придание ему требуемого направления. С этой целью развертку устанавливают в специальные плавающие патроны или шарнирные оправки, позволяющие инструменту занять требуемое положение. Для решения этой задачи используются также направляющие втулки, установленные в приспособлении [34].

При развёртывании предпочтительным является вертикальное расположение шпинделя, так как в этом случае силы тяжести развертки и оправки не влияют на разбивку обрабатываемого отверстия, что способствует достижению более высокой точности геометрической формы. Так как в процессе резания происходит значительное выделение теплоты, вызывающей температурные деформации детали, то развёртывание рекомендуется выполнять на больших подачах с обильным охлаждением.

Тонкое (алмазное) растачивание отверстий корпусных деталей выполняют на отделочно-расточных станках, которые обладают высокой жесткостью и повышенной виброустойчивостью. Станки могут иметь как вертикальную, так и горизонтальную компоновку с одним или несколькими шпинделями. Отделочно-расточные станки горизонтальной компоновки бывают одностороннего и двухстороннего исполнения. Растачивание происходит однолезвийными резцами с пластинами из твердых сплавов, а также алмазными резцами и резцами, оснащенными сверхтвердыми режущими материалами. Специальная геометрия таких резцов позволяет обрабатывать отверстия с очень малыми глубинами резания. Инструмент устанавливается в жестких консольных оправках, у которых отношение их длины к диаметру отверстия не более семи [53]. Для повышения жесткости расточных оправок их нередко выполняют из твердого сплава. С точки зрения точности обработки, как и при развёртывании, предпочтительным является вертикальное расположение шпинделя станка, при котором масса расточной оправки практически не влияет на точность геометрической формы отверстий. Кроме того, создаются благоприятные условия для отвода стружки. Обрабатываемые заготовки, закрепленные на столе станка, не вращаются. Вращение получает режущий инструмент, что исключает влияние дисбаланса заготовки на точность обработки отверстия.

Основными факторами, влияющими на точность тонкого (алмазного) растачивания, является тщательная доводка режущей кромки инструмента, небольшое удельное давление резания, большие скорости и очень малые глубины

резания. Алмазному растачиванию предшествует чистовая обработка отверстий с точностью по 10-8-му квалитетам для обеспечения стабильности припуска. Припуск, оставляемый на тонкое растачивание в пределах 0,05-0,4 мм на сторону, снимается, как правило, за два рабочих хода. Скорость резания (V) составляет для стали 120-300 м/мин при подаче (S) 0,02-0,12 мм/об, для чугуна $V = 100-220$ м/мин при $S = 0,03-0,15$ мм/об и для цветных металлов и сплавов $V = 300-1000$ м/мин при $S = 0,01-0,15$ мм/об [42, 53, 57].

При таких режимах имеют место малые силы резания и незначительное тепловыделение, что способствует получению высокой точности размеров, геометрической формы и относительного расположения обрабатываемых отверстий корпусных деталей.

Тонкое (алмазное) растачивание обеспечивает получение точности диаметральных размеров отверстий в пределах 7-5-го квалитетов, параметр шероховатости поверхности $Ra = 1,25-0,30$ мкм, овальность и конусность отверстий в пределах 2-5 мкм. Точность межцентровых расстояний и положения отверстий относительно базы составляет 5-30 мкм [42; 49; 53; 57].

Дополнительно к основным достоинствам тонкого (алмазного) растачивания следует отнести высокую производительность процесса, работу без охлаждения и отсутствие в порах обработанной поверхности абразивных зерен, что наблюдается при обработке абразивным инструментом (при шлифовании и хонинговании).

Внутреннее планетарное шлифование применяется главным образом при обработке точных отверстий в деталях, прошедших термическое или гальваническое упрочнение, а также в тех случаях, когда по каким-либо причинам невозможно использовать другие, более производительные методы финишной обработки отверстий, например алмазное растачивание.

Планетарное шлифование рекомендуется применять в первую очередь для обработки отверстий диаметром более 150 мм. Однако современные конструкции координатных планетарно-шлифовальных станков позволяют осуществлять шлифование отверстий в корпусных деталях диаметром 10 мм и выше. В процессе обработки шлифовальный круг вращается вокруг своей оси и совершает планетарное движение относительно оси обрабатываемого отверстия (рисунок 4.25). Подача в осевом направлении ($D_{сп}$) осуществляется путем продольного возвратно-поступательного перемещения стола с неподвижно закрепленной заготовкой. Подача в радиальном направлении ($D_{сп}$) производится перемещением шлифовального круга в радиальном направлении.

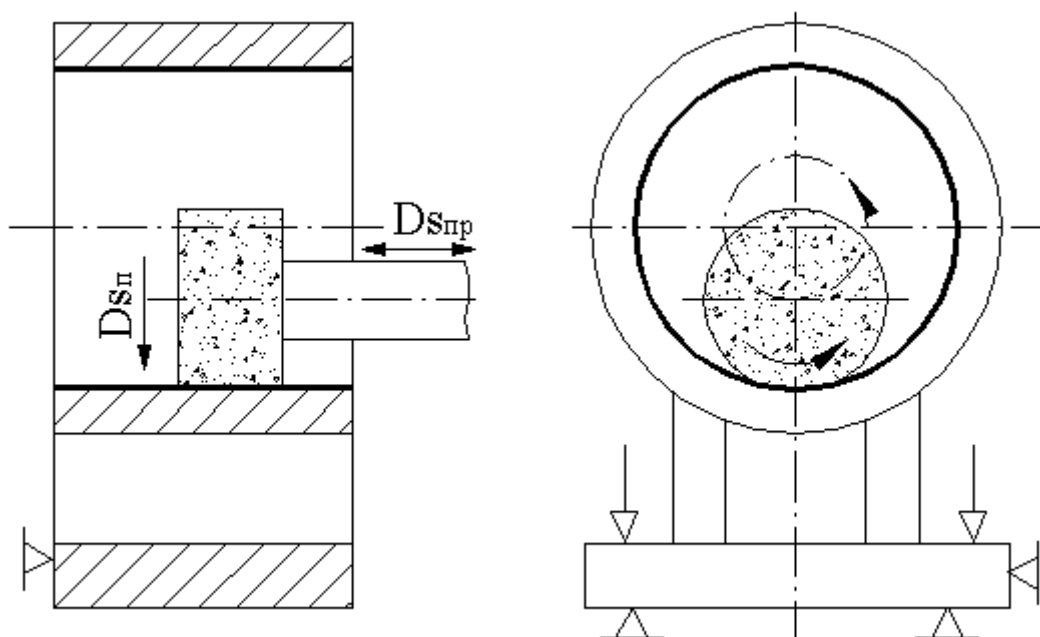


Рисунок 4.25 – Схема планетарного шлифования

Припуск, оставляемый под шлифование отверстий, составляет примерно 0,1-0,2 мм на диаметр [42]. Диаметр шлифовального круга выбирают в пределах 0,5-0,9 диаметра обрабатываемого отверстия. Скорость главного движения резания составляет 10-30 м/с. Вследствие относительно малой жесткости шпинделя и оправки с режущим инструментом радиальную подачу при черновом шлифовании деталей из стали и чугуна устанавливают равной 0,005-0,02 мм и при чистовом 0,002-0,01 мм на один двойной ход. Продольная подача составляет 0,4-0,9 ширины круга для черновой обработки и 0,25-0,4 – при чистовой [7; 57]. Для внутреннего шлифования выбирают более мягкие круги, чем для наружного, так как контакт инструмента и обрабатываемого отверстия осуществляется по удлиненной дуге, и поэтому происходит более сильный нагрев обрабатываемой детали. Процесс шлифования производится с подачей охлаждающей жидкости в зону резания.

Планетарное шлифование обеспечивает получение отверстий в корпусных деталях точностью 6-7-го квалитетов, погрешность формы отверстий не выше 4 мкм и параметр шероховатости поверхности $Ra = 0,32-0,16$ мкм. При обработке на координатных планетарно-шлифовальных станках можно получить положение оси отверстия относительно базы и межцентровые расстояния с точностью до 0,01 мм [42].

Недостатками данного процесса являются сложная кинематика станков и невысокая производительность по сравнению с другими подобными методами обработки.

Хонингование является основным видом отделочной обработки сквозных

гладких отверстий диаметром от 25 до 500 мм в «сырых» и закаленных деталях преимущественно из стали и чугуна. Хонингование предназначено для обеспечения высокой точности размеров, геометрической формы отверстий, а также для уменьшения шероховатости поверхности.

Точность диаметральных размеров отверстия после хонингования соответствует 5-6-му квалитетам, геометрической формы отверстий диаметром до 250 мм – в пределах 3-4 мкм, параметр шероховатости $Ra = 0,5-1,6$ мкм [41; 42; 49].

Хонингование является высокопроизводительным, экономичным процессом и выполняется на специальных одно- и многошпиндельных станках с вертикальной или горизонтальной компоновкой. В ряде случаев для реализации процесса хонингования отверстий можно использовать сверлильные станки.

Инструмент (рисунок 4.26) доводочная головка (хон) представляет собой цилиндр 4, вдоль образующих которого расположено шесть абразивных брусков 3, укрепленных на соответствующих планках 5 и соединенных попарно с радиальными стержнями 6, которые входят в соответствующие пазы головки. Внутри головки смонтирован двусторонний конический регулируемый стержень 1, с помощью которого радиальные стержни вместе с абразивными брусками раздвигаются, регулируя диаметральный размер и компенсируя износ абразивных брусков. Они соединены между собой попарно пружинами 7. Хонингованием не исправляют отклонения от прямолинейности оси отверстия, поэтому хон крепят в шпинделе шарнирно. Это позволяет хону самоустанавливаться по обрабатываемому отверстию заготовки 2. Следует иметь в виду, что операции хонингования должно предшествовать растачивание, которое обеспечивает требуемое относительное положение оси отверстия.

При хонинговании доводочная головка (хон) совершает вращательное движение с окружной скоростью 20-60 м/мин при обработке деталей из стали и 50-80 м/мин – из чугуна. Кроме того, хон имеет возвратно-поступательное движение ($D_{спр}$) вдоль оси отверстия со скоростью 5-40 м/мин. Раздвижение абразивных брусков происходит автоматически по мере уменьшения припуска, величина которого при хонинговании составляет 0,01-0,20 мм [42; 49; 57].

Процесс обработки выполняется при обильном охлаждении. Охлаждающую жидкость выбирают в зависимости от материала корпусных деталей.

Наибольшая эффективность достигается алмазным хонингованием, что связано с незначительным износом алмазно-металлических брусков по сравнению с абразивными и упрощением наладки оборудования.

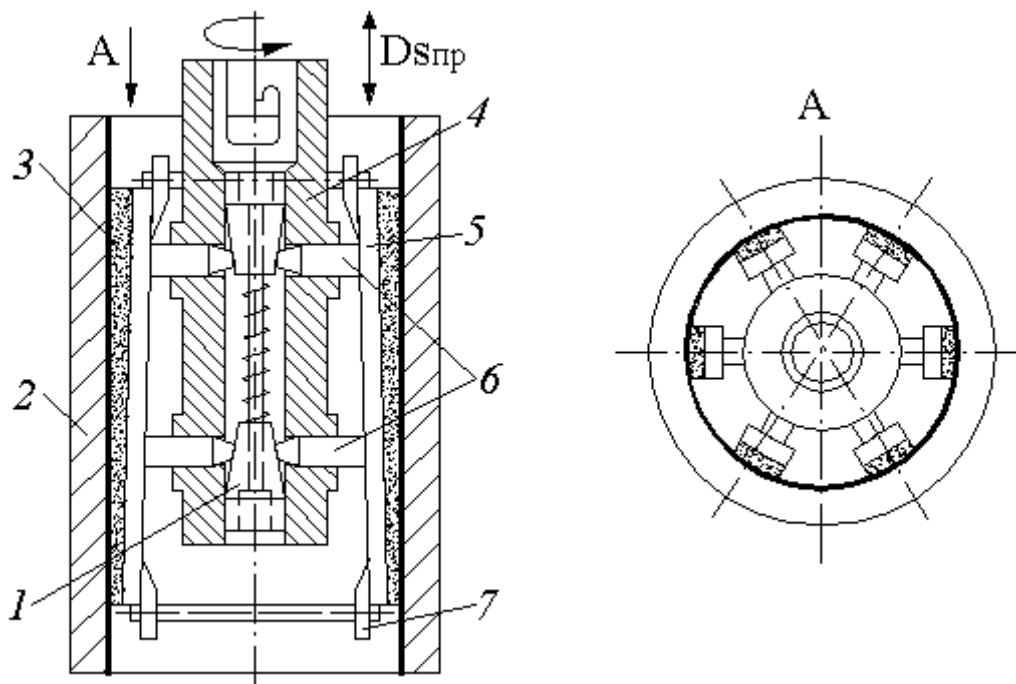


Рисунок 4.26 – Доводочная головка (хон)

При большом объеме выпуска деталей хонингование может выполняться на высокопроизводительных станках-автоматах при непрерывном автоматическом контроле получаемых в процессе обработки параметров точности отверстий. При обработке ответственных корпусных деталей хонингование рекомендуется выполнять после тонкого растачивания, так как эти два процесса технологически дополняют друг друга. Наиболее эффективно применять хонингование при обработке высокоточных длинных отверстий в серийном и массовом производстве, например при изготовлении корпусных деталей с отверстиями под выдвижные шпиндели и пиноли.

В настоящее время в качестве финишных методов обработки отверстий получили достаточное распространение методы поверхностного пластического деформирования (ППД), сходные по схеме обработки с резанием. В отличие от резания, где происходит срезание микронеровностей с обрабатываемой поверхности, при ППД микронеровности пластически деформируются гладкой рабочей частью инструмента. При такой обработке не только существенно снижается шероховатость, но и происходит упрочнение поверхностного слоя обрабатываемого отверстия [4].

Все схемы обработки отверстий методами ППД делятся на схемы выглаживания, при которых деформирующий элемент инструмента скользит по обрабатываемой поверхности и схемы раскатывания, где деформирующий элемент катится по контактируемой с ним поверхности отверстия [37]. Использование при выглаживании в качестве деформирующего элемента твердосплавного или

алмазного наконечника с небольшим радиусом скругления ($R = 0,75-4,0$ мм) позволяет даже при малых силах (50-300 Н) проводить обработку ППД как маложестких деталей, так и деталей из материалов высокой твердости (60-65HRCЭ). При выглаживании существенно снижается шероховатость обрабатываемой поверхности ($Ra = 0,05-0,10$ мкм) и на 20-40% упрочняется поверхностный слой [4; 31].

По сравнению с выглаживанием раскатывание является более производительным процессом, обеспечивающим большую глубину упрочненного слоя. В то же время параметр шероховатости поверхности при раскатывании больше, чем при выглаживании, и составляет для деталей из различных материалов $Ra = 0,02-0,40$ мкм [31]. Раскатывание выполняют на сверлильных, токарных или специальных станках. Для обработки используются различные по конструкции инструменты, чаще всего многороликовые раскатники, которые вращаются относительно оси отверстия и совершают осевое перемещение с подачей до 3 мм на один оборот. До раскатывания заготовки обрабатывают растачиванием, шлифованием и другими методами, обеспечивающими точность по 7-9-му квалитетам и $Ra \leq 1,6-2$ мкм. Припуск под раскатывание обычно составляет 0,005-0,05 мм на диаметр [31; 42]. Однако раскатывание не исправляет положение оси обрабатываемого отверстия, поэтому точность расположения отверстия должна обеспечиваться на предшествующей операции.

Раскатывание обеспечивает достижение точности отверстий по 6-9-му квалитетам и погрешности геометрической формы для отверстий диаметром до 120 мм в пределах 0,005-0,008 мм. В результате обработки обеспечивается уплотнение поверхностного слоя и повышение его твердости на 20-50% [34; 42].

Раскатывание применяют для окончательной обработки сквозных и глухих отверстий в корпусных деталях из различных материалов с твердостью HRCЭ 35-40, способных в холодном состоянии пластически деформироваться. Процесс ведется с использованием смазочно-охлаждающей жидкости. Метод раскатывания показал достаточно высокую эффективность при финишной обработке длинных отверстий в стальных деталях типа корпусов гидроцилиндров, пинолей, поршневых и винтовых насосов, гидравлических стоек и др. Производительность раскатывания значительно выше, чем производительность шлифования и хонингования.

Более полные сведения о различных финишных методах ППД отверстий, особенностях и областях их использования, конструкциях инструментов и режимах обработки можно получить в справочниках [37; 50].

Притирку применяют в единичном и мелкосерийном производстве для обеспечения высокой точности обработки и минимальной шероховатости от-

верстий небольших диаметральных размеров. Процесс осуществляется с использованием абразивных порошков и паст, наносимых на специальный притир или на обрабатываемую поверхность. Операция притирки может выполняться вручную или на универсальных станках сверлильного, фрезерного и токарного типов. В качестве примера можно отметить, что с помощью притирки обеспечивается требуемый зазор в золотниковых парах у различных корпусов топливной, пневмо- и гидроаппаратуры.

4.6.3 Обработка вспомогательных отверстий

Крепежные и другие мелкие отверстия в корпусных деталях под пробки, маслоуказатели и т.п. в зависимости от размеров и конструктивных форм корпусных деталей, серийности выпуска, обрабатывают на радиально- и вертикально-сверлильных станках, вертикально-фрезерных и многоцелевых станках с ЧПУ, а также специальных и агрегатных станках различных компоновок. При этом могут выполняться такие технологические переходы, как сверление, рас-сверливание, зенкерование, развертывание, центрование, снятие фасок и нарезание резьбы.

В условиях единичного производства сверление отверстий выполняют по разметке. В серийном производстве мелкие отверстия обрабатывают с использованием накладных, скальчатых, коробчатых и поворотных кондукторов, конструкции которых обеспечивают направление режущего инструмента. Применение быстросменных патронов, специальных револьверных и многошпиндельных сверлильных головок, комбинированных режущих инструментов позволяет существенно сократить время на сверлильные операции. В массовом и крупносерийном производстве мелкие отверстия обрабатывают на специальных многошпиндельных и агрегатных станках, имеющих различные компоновки. В автоматизированном серийном производстве обработку крепежных и других отверстий вспомогательного назначения совмещают с обработкой основных поверхностей и выполняют на вертикально-фрезерных и многоцелевых станках с ЧПУ.

Недостатками метода нарезания резьбы в отверстиях с использованием метчика являются необходимость использования нескольких метчиков (нулевого, первого, второго и т.д.) и определенная вероятность разрушения метчика, после чего он остается в отверстии и появляется необходимость в использовании специальных технических средств для удаления поломанного метчика из отверстия. Избежать данных недостатков позволяет использование концевых фрез для нарезания резьбы [63; 64].

При такой обработке резьба формируется посредством перемещения фре-

зы по спирали. Это движение называется винтовой интерполяцией, выполняется в основном на станках с программным управлением либо требует использования сложной оснастки. Поэтому резьбовые концевые фрезы стали широко применяться в промышленной практике лишь с начала 90-х годов прошлого века, когда станки с числовым программным управлением получили широкое распространение.

Кинетически процесс резьбового фрезерования реализуется следующим образом. Резьбовая фреза подводится в отверстие, которое получено на предыдущих переходах. Далее осуществляется подвод фрезы в радиальном направлении и врезание по дуге 90° на требуемую глубину, при этом фреза поднимается вверх на $\frac{1}{4}$ шага (участок 1-2 на рисунке 4.27). Затем фреза совершает полный оборот и одновременно поднимается вверх на величину шага (P) и выходит из профиля по обратной дуге с тем же углом (участок 3-4 на рисунке 4.27). В случае, когда длина резьбы превышает длину режущей кромки фрезы, то участок 2-3 повторяется несколько раз.

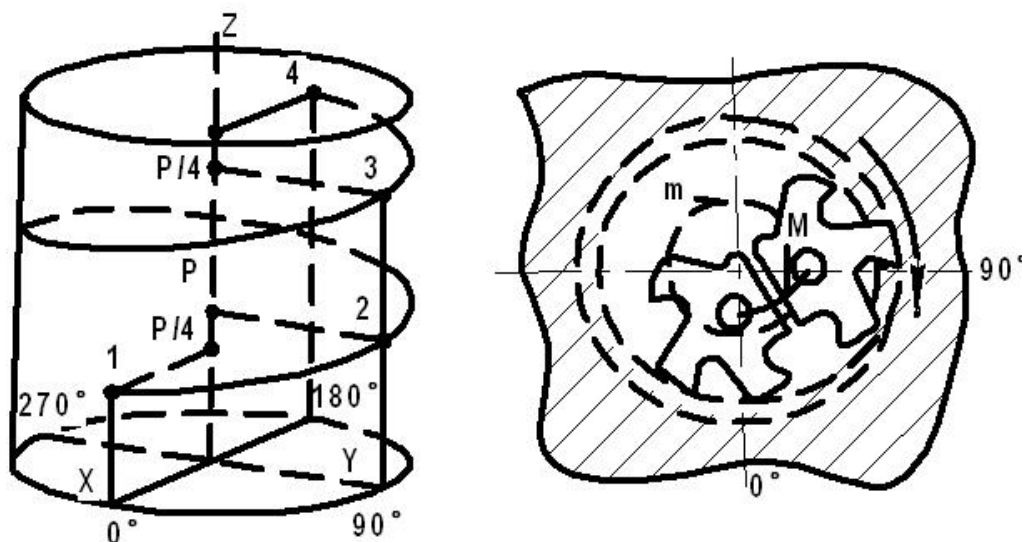


Рисунок 4.27 – Принципиальная схема винтовой интерполяции

Для фрезерования резьба на обрабатываемых центрах с ЧПУ наиболее широко применяется следующие типы фрез:

- твердосплавные для цилиндрической резьбы (рисунок 4.28 а);
- твердосплавные для конической резьбы (рисунок 4.28 б);
- фрезы со спиральными канавками и кромкой для нарезания фаски (рисунок 4.28 в);
- резьбовые фрезы со сменными многогранными пластинами (рисунок 4.28 г, д);
- комбинированные фрезы для сверления отверстия под резьбу и фрезерования резьбы (рисунок 4.28 е);

- резьбовые фрезы для фрезерования резьбы в сплошном материале (рисунки 4.28 ж).

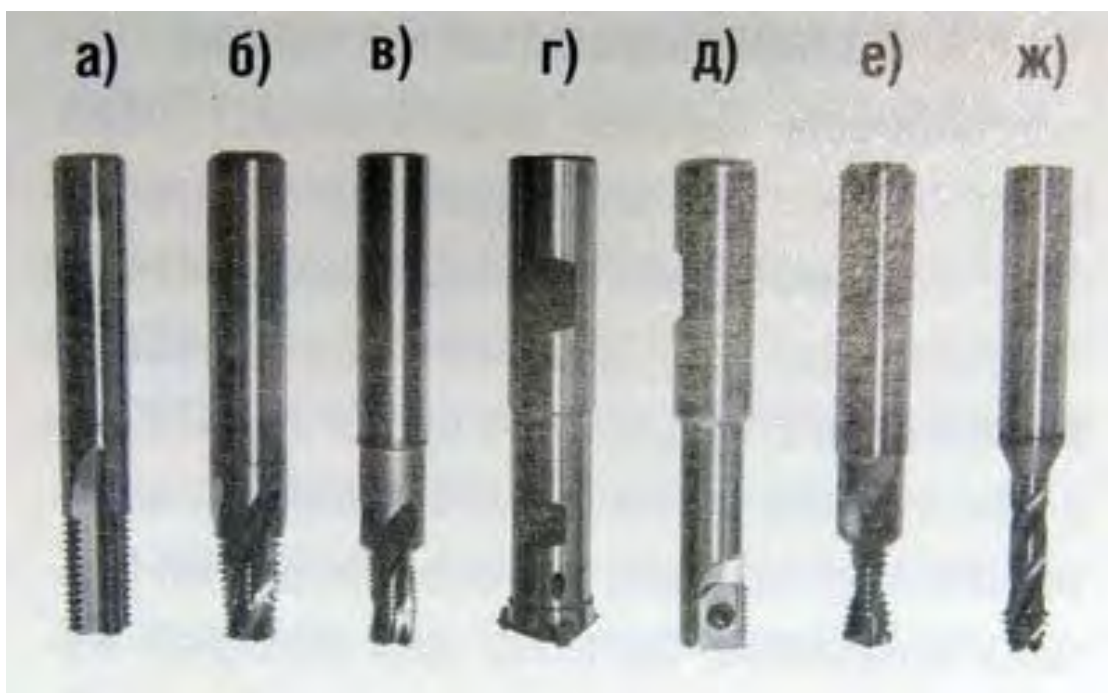


Рисунок 4.28 – Основные типы резьбовых фрез

В большинстве технической литературы говорится о том, что использовать метчики целесообразно при нарезании резьбы диаметром от 1 до 100 мм. Однако совершенствование конструкций резьбовых фрез, появление цельнотвердосплавных фрез и фрез со сменными многогранными пластинами позволило вести речь о преимущественном использовании фрез для нарезания резьбы в отверстиях диаметром более 36 мм, однако принципиально резьбовые фрезы применимы и для нарезания резьбы с диаметром более 10 мм.

Обработка с использованием резьбовых фрез имеет ряд преимуществ по сравнению с использованием метчиков [59]:

1 При нарезании резьбы фрезой вероятность поломки инструмента существенно ниже, чем при использовании для этих же целей метчика.

2 Метчик всегда требует зазора между дном отверстия и торцом метчика из-за наличия на метчике заборного конуса. Т.е. метчик никогда не может нарезать резьбу в глухом отверстии «в упор». Применение резьбовой фрезы позволяет решить эту проблему, так как расстояние от торца фрезы до первой режущей кромки крайне мало.

3 Резьбовая фреза дает возможность получить резьбу в отверстии не только со стандартными параметрами, но и с параметрами, отличными от стандартных.

4 Фрезы позволяют обрабатывать материалы твердостью более 30HRC, что вызывает значительные затруднения при обработке метчиком.

5 Резьбовые фрезы показывают большую эффективность при обработке таких материалов, как титановые и никелевые сплавы и резина, так как инструмент не имеет полного контакта с заготовкой.

6 Резьбовые фрезы обладают существенно большей гибкостью обработки чем метчики, т.к. одной и той же фрезой можно нарезать резьбы разного диаметра и направлений (как правую, так и левую резьбы).

7 В случае поломки метчика деталь либо бракуется, либо метчик извлекается электроискровым способом. И в том, и в другом случае необходимы существенные затраты. Если нарезание резьбы является заключительной операцией при обработке детали трудоемкостью более тысячи нормо-часов, то опасность поломки метчика может послужить достаточно весомым аргументом в пользу применения резьбовой фрезы. При применении фрезы в случае ее поломки остатки фрезы или пластины падают в отверстие и могут быть легко извлечены.

8 При применении фрезы оператор станка может контролировать и/или изменять параметры перемещения по осям, обеспечивая получение резьбы высокой точности. При обработке метчиком изменение параметров резьбы невозможно.

9 Резьбовые фрезы дают также возможность менять размерные параметры резьбы, когда, например, деталь деформирована после термической обработки.

10 Использование фрезы для нарезания конической резьбы дает возможность выполнять обработку в два перехода (сверление и нарезание резьбы) вместо классической технологии, использующей три перехода (сверление, коническое развертывание и нарезание резьбы).

11 Резьбовые фрезы имеют более высокую производительность, чем метчики. При фрезеровании фреза заходит на ускоренной подаче в отверстие на полную глубину резьбы и поднимается по спирали вверх до выхода из отверстия, в отличие от метчика, который на рабочей подаче проходит весь путь дважды – вниз и вверх.

12 Использование резьбовых фрез дает возможность нарезать резьбу на наружных поверхностях.

К недостаткам способа следует отнести необходимость использования сложного оборудования и высокую цену резьбовых фрез. Таким образом, окончательное решение о выборе того или иного метода нарезания резьбы в отверстии производится на основе технико-экономического обоснования вариантов обработки.

4.7 Обработка на многоцелевых станках

Многоцелевые станки для обработки корпусных деталей имеют инструментальный магазин, оснащенный большим количеством инструментов, что обеспечивает высокую концентрацию операций, в том числе фрезерования, растачивания, сверления, зенкерования, развертывания, нарезания резьбы, шлифования, контроля качества обработки и т.д. Современные многоцелевые станки позволяют получать точность обработки, соответствующую 6-7 качеству.

Использование многоцелевых станков позволяет произвести обработку детали со всех сторон за один установ, а также сократить вспомогательное время за счет автоматической установки инструмента (заготовки) по координатам, выполнения всех элементов цикла обработки, смены инструментов, кантования и смены заготовки, изменения режимов резания, выполнения контрольных операций, а также больших скоростей вспомогательных перемещений.

Обработка на многоцелевых станках чаще всего производится с использованием универсальной технологической оснастки: упоров, прихватов, призм и т.д. При фрезеровании плоскостей на многоцелевых станках обычно применяют фрезы небольшого диаметра, обработку при этом производят с большим числом рабочих ходов. Отверстия, лежащие на одной оси, но расположенные с разных сторон, обычно растачивают с двух сторон, поворачивая при этом стол станка.

Одним из наиболее перспективных видов многоцелевых станков, применяемых при обработке корпусных деталей, являются станки с 5 управляемыми координатами (X, Y, Z – перемещение инструмента по осям, C – поворот стола в одной плоскости, A – наклон стола или B – наклон шпинделя). На рисунке 4.29 показан шпиндель, с возможностью наклона по оси B, на рисунке 4.30 изображена рабочая зона станка с возможностью наклона стола по оси B.



Рисунок 4.29 – Шпиндельная головка

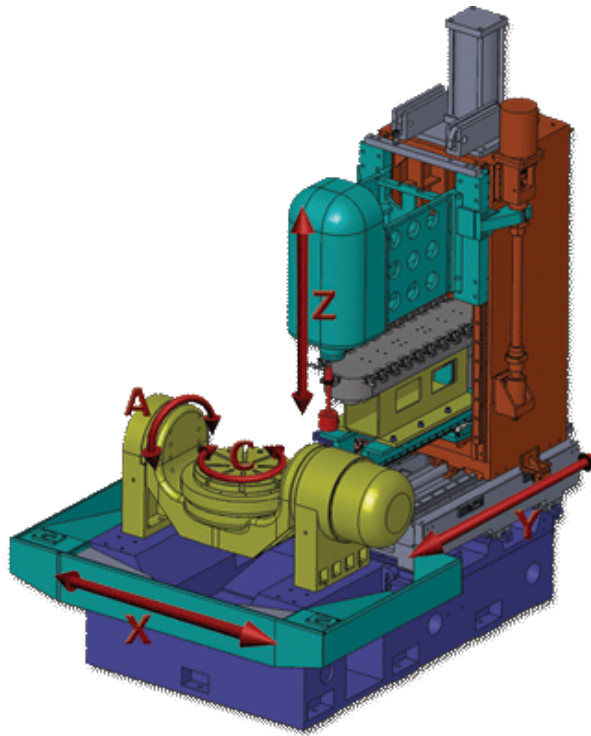


Рисунок 4.30 – Рабочая зона станка с возможностью наклона стола

Возможности 5-осевой обработки позволяют не только расширить номенклатуру выпускаемых изделий, особенно в условиях серийного производства, но и повысить качество изделий. Например, корпуса изделий, подвергающиеся нагрузке (насосов и т.д.), в некоторых случаях выгоднее изготавливать из цельного куска металла по следующим причинам:

- прочностные параметры у штампованных заготовок выше, чем у литых;
- изготовление литейной оснастки не всегда экономически целесообразно в условиях мелкосерийного производства;
- при использовании литых заготовок возникает необходимость контроля дефектов литья (например, раковин);
- современные многоцелевые станки позволяют реализовать высокоскоростную обработку, при этом основная часть тепла уходит в стружку, что дает возможность обработки закаленных деталей, позволяя при этом избежать закалки после фрезерования.

5-координатные станки выполняют обработку сложных корпусных деталей за один установ, благодаря чему повышается точность изготовления и исчезает необходимость в применении вспомогательных приспособлений. При использовании 5-координатных станков возможно изготовление корпусных деталей за 2 установка: на первом установе заготовка обрабатывается с 1 стороны, при этом подготавливаются технологические базы для дальнейшей обработки (например, плоскость и 2 отверстия, 3 взаимно перпендикулярные плоскости и т.д.), на втором установе производится обработка всех остальных поверхностей.

Кроме того, 5-координатный фрезерный станок дает возможность за один установ выполнить сверление и расточку всех отверстий, позволяя тем самым исключить погрешность базирования в приспособлении, что особенно важно при расположении оси отверстия под произвольным углом (рисунок 4.31).

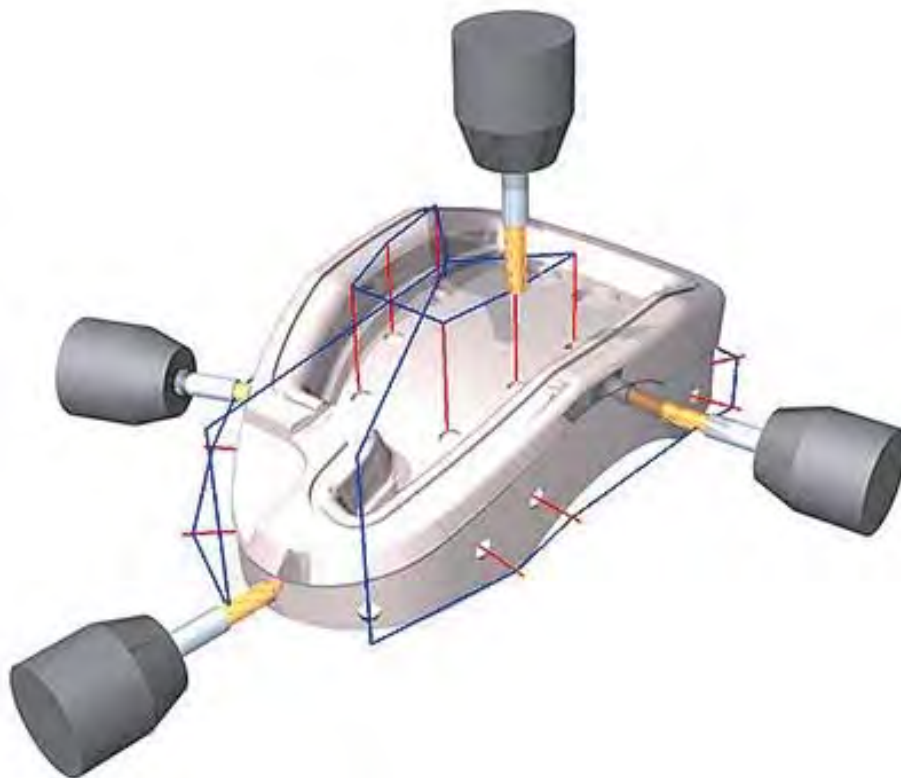


Рисунок 4.31 – Обработка отверстий в корпусной детали на многоцелевом станке

Т.к. при использовании многоцелевых станков с 5-осевой обработкой отсутствует необходимость в большом числе переустановок заготовки, то, с одной стороны, сокращается вспомогательное время (особенно при обработке деталей с массой >10 кг в условиях серийного производства), а с другой – исчезает возможность брака по вине оператора.

Глава 5. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПА РЫЧАГОВ

5.1 Служебное назначение, конструктивные и технологические особенности деталей

К данному типу деталей относятся рычаги разной конфигурации, коромысла, вилки, собачки, шатуны, тяги с проушинами и другие детали подкласса 743000 классификатора ЕСКД [16]. Детали данного типа служат для осуществления кинематической связи между механизмами, а также отдельными деталями машиностроительных изделий. Например, рычаги, совершая вращательные или качательные движения, передают необходимые силы и обеспечивают заданные законы движения сопряженных с ними деталей. Как правило, у рычагов обрабатываемыми поверхностями являются площадки и отверстия в бобышках, располагаемых на концах стержня. Поперечное сечение стержня обычно не круглое. Оси основных отверстий, которых в рычагах два или более, параллельны или расположены под различными углами. В вилках обычно одно основное отверстие, имеющее достаточную длину для восприятия вилкой момента от сил, действующих при переключении передач, и надежного направления при перемещении по оси. Кроме основных отверстий и опорных площадок на концах стержня у деталей данного типа в зависимости от конструкции обрабатывают шпоночные пазы, шлицевые поверхности, прорези в бобышках, крепежные отверстия и другие поверхности. В отдельных случаях обработке подвергаются и стержни.

В зависимости от служебного назначения и конструкции деталей к ним предъявляются следующие технические требования [6; 38; 54; 56]:

1 При обработке необходимо обеспечить правильную геометрическую форму основных отверстий и их торцев.

2 Точность диаметров основных отверстий должна соответствовать 6-9-му квалитетам, а отклонения межосевых расстояний не должны превышать $\pm 0,3$ мм.

3 Обеспечение взаимного расположения поверхностей: отклонение от параллельности осей основных отверстий допускается в пределах 0,05-0,25 мм на 100 мм длины; отклонение от перпендикулярности торцевых поверхностей бобышек к осям основных отверстий 0,05-0,30 мм на 100 мм радиуса; отклонение от перпендикулярности торцевых поверхностей лапок вилок относительно осей основных отверстий 0,1-0,3 мм на 100 мм длины; отклонение от параллельности торцевых поверхностей бобышек и лапок между собой 0,05-0,25 мм на 100 мм длины; отклонение от соосности наружных поверхностей головок нагруженных рычагов, тяг, серег и других деталей, подверженных осевой нагрузке, относи-

тельно основных отверстий из условий прочности 0,5-1,0 мм.

4 Параметр шероховатости поверхности основных отверстий $Ra = 0,32-2,5$ мкм, торцевых поверхностей до $Ra = 1,25$ мкм.

5 Для увеличения срока службы твердость исполнительных поверхностей этих деталей в пределах HRCЭ 40...62.

В качестве материала деталей типа рычагов, не подвергающихся в машине ударным нагрузкам, значительному растяжению и изгибу, служит недорогой и прочный серый чугун марок СЧ 12, СЧ 15, СЧ 18. Для деталей, работающих в более тяжелых условиях и испытывающих большие напряжения, используют более прочный и дорогой чугун марок СЧ 21, СЧ 24, а при значительных ударных нагрузках – ковкий чугун марок КЧ 35-10 или КЧ 37-12. Применяют также конструкционные и легированные стали марок 20, 35, 40, 45, 35Х, 40Х, 18ХГТ, 35Л и др. [54; 56]. В зависимости от материала и годового объема выпуска деталей заготовки для них могут быть получены свободной ковкой, штамповкой или литьем. Тяжелонагруженные рычаги и вилки изготавливают исключительно из кованых или штампованных заготовок, так как при этих методах обеспечиваются наиболее высокие механические характеристики материала.

В условиях единичного и мелкосерийного производства для формирования стальных заготовок простой конфигурации используют свободную ковку. Штампованные заготовки характерны для изготовления деталей в условиях серийного и массового производства. При объемной штамповке в качестве исходной заготовки используют горячекатаный прокат или предварительно кованую заготовку. Штамповку осуществляют на паровоздушных штамповочных молотах, кривошипных прессах и горизонтально-ковочных машинах. Для снятия остаточных напряжений после штамповки, а также для улучшения обрабатываемости после кузнечных операций заготовки подвергают нормализации. При большом объеме выпуска заготовки отдельных деталей могут быть получены поперечно-винтовой прокаткой. Перспективным для изготовления рычагов, вилок и других деталей является использование метода горячего прессования порошковых материалов, позволяющего получить точные заготовки с мелкозернистой структурой, обеспечивающей высокие прочностные свойства изделий. Порошковая металлургия позволяет почти полностью исключить механическую обработку и обеспечивает достаточно высокую степень автоматизации процесса.

Заготовки из серого и ковкого чугуна при небольшом их выпуске обычно получают литьем в разовые песчаные формы с применением ручной и машинной формовки. Для образования основных отверстий используют стержни. Минимальный диаметр литых отверстий 10-15 мм [56]. При увеличении серийности производства и повышении требований к качеству отливок чугунные заго-

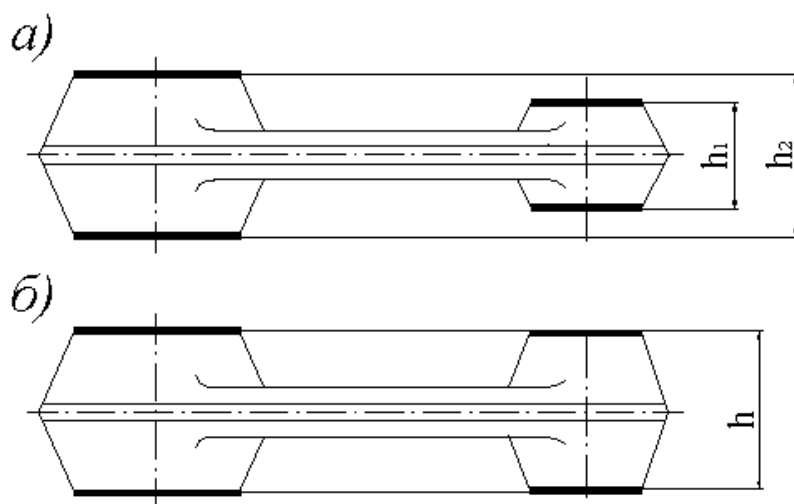
товки, а также стальные заготовки сложной формы изготавливают литьем по выплавляемым и газифицируемым моделям. В ряде случаев используют литье в оболочковые формы и центробежное литье [49; 54]. Применение современных способов литья позволяет обеспечить точность отливок, соответствующую 10-15-му квалитетам при шероховатости поверхности $Ra = 2,5-10$ мкм [56].

5.2 Технологичность, последовательность изготовления деталей и их базирование

Общие требования к технологичности деталей в условиях обычного и автоматизированного производства сформулированы в главах 1, 4. Вместе с тем, чтобы обеспечить выполнение технических требований, минимальную трудоемкость и себестоимость механической обработки деталей типа рычагов, при их конструировании следует по возможности соблюдать следующие технологические требования:

1 Детали должны обладать хорошо развитыми опорными технологическими базами, чтобы было обеспечено надежное жесткое закрепление их во время механической обработки. Это позволит повысить производительность обработки за счет более высоких режимов резания.

2 Следует избегать ступенчатого расположения обрабатываемых плоскостей рычагов (рисунок 5.1). Расположение в одной плоскости допускает обработку на проход.



а – ступенчатое; б – в одной плоскости

Рисунок 5.1 – Примеры расположения обрабатываемых плоскостей

3 В конструкции рычага со сферической поверхностью следует предусматривать переходную шейку между телом рычага и сферической головкой. Торец сферы рекомендуется выполнять плоским (рисунок 5.2), что упрощает ее

обработку фасонным инструментом на полуавтоматах, автоматах, станках с ручным управлением, а также снижает затраты при использовании станков с ЧПУ.

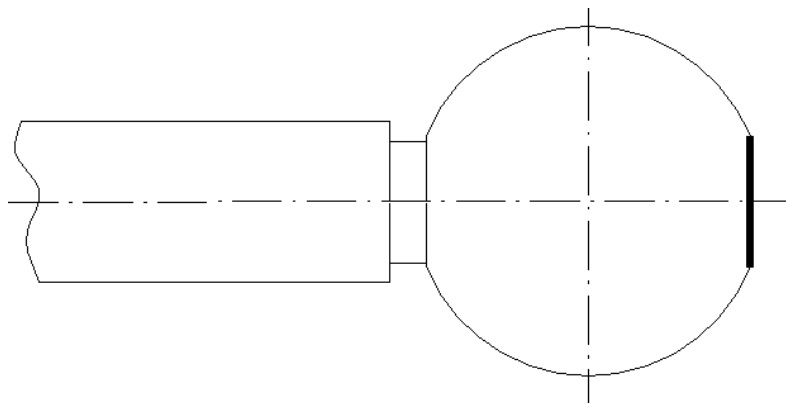


Рисунок 5.2 – Пример технологичной конструкции рычага со сферической головкой

4 Штампованные и литые рычаги, вилки и другие детали подобного типа должны иметь минимально необходимый объем механической обработки. Не-рабочие поверхности следует оставлять без механической обработки.

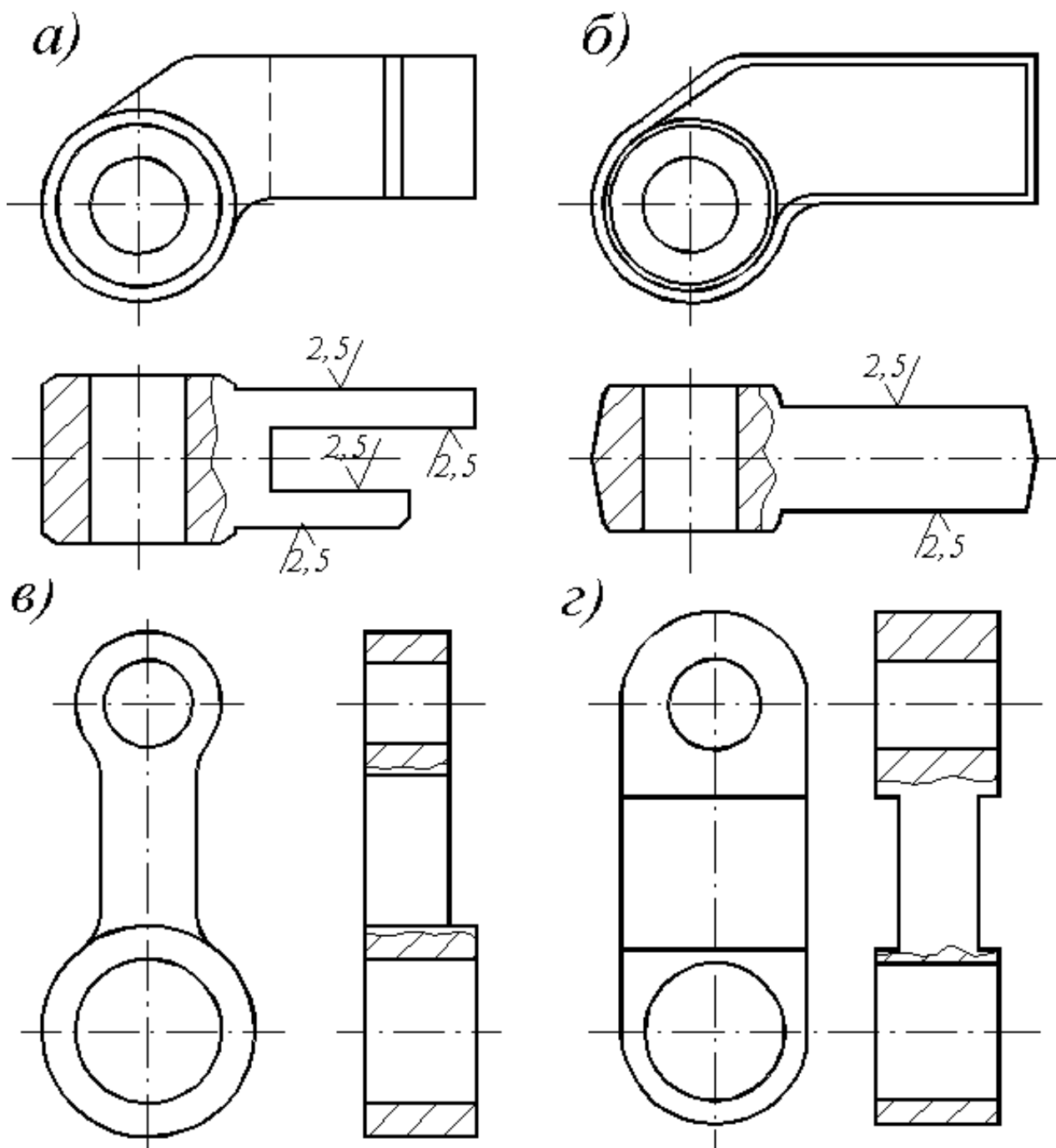
5 Желательно стремиться к упрощению конструктивных форм деталей (рисунок 5.3).

6 Проушины в рычагах должны допускать обработку на проход (рисунок 5.4).

7 Для повышения технологичности деталей сложной конфигурации их конструкции могут быть разбиты на ряд простых деталей, соединяемых на резьбе сваркой или другими методами.

Последовательность изготовления рычагов, вилок и т.п., применяемая технологическая оснастка и оборудование определяются типом производства, конструктивными и технологическими особенностями конкретных деталей.

В условиях мелкосерийного и единичного производства рычаги обрабатывают на универсальном оборудовании с применением универсально-безналадочных или универсально-сборных приспособлений. При достаточной номенклатуре конструктивно похожих деталей могут быть использованы принципы групповой технологии, когда заготовки обрабатывают в групповых приспособлениях, переналаживаемых путем перемещения установочных элементов, замены кондукторных втулок и других деталей. Для групповой обработки можно использовать станки с программным управлением.



а, в – нетехнологичные конструкции;

б, г – технологичные конструкции

Рисунок 5.3 – Примеры упрощения конфигурации рычагов

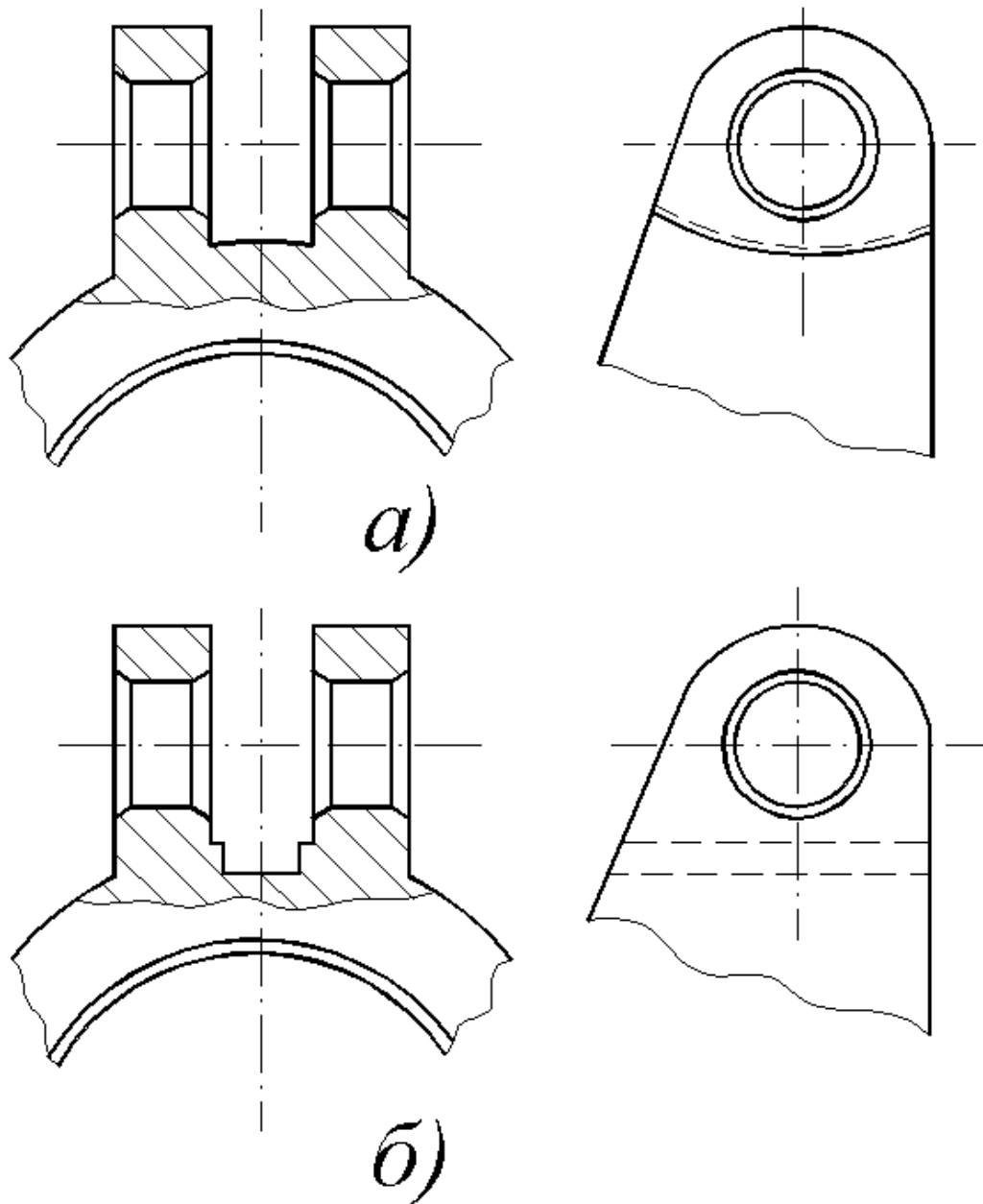


Рисунок 5.4 – Примеры рычагов с проушинами, не допускающими (а) и допускающими (б) обработку на проход

В условиях среднесерийного производства принципы групповой технологии находят наибольшее применение. Использование многоместных групповых приспособлений позволяет с успехом применять самое разнообразное оборудование, включая универсальные станки с ручным и числовым программным управлением, агрегатные и специальные станки. Эффективным является использование универсально-наладочных, сборно-разборных и специализированных наладочных приспособлений.

В крупносерийном и массовом производстве рычаги и вилки обрабатыва-

ют на протяжных, многошпиндельных, одно- и многопозиционных агрегатных станках в неразборных специальных приспособлениях, а также в приспособлениях–спутниках на автоматических линиях.

Применение приспособлений во всех случаях обеспечивает получение заданного взаимного расположения основных поверхностей деталей. Точность основных отверстий, как правило, обеспечивается за счет использования мерных режущих инструментов (сверл, зенкеров, разверток).

Основными этапами технологического процесса механической обработки рычагов, вилок и других деталей подобного типа являются [38, 56]:

1 Последовательная или одновременная обработка торцевых поверхностей основных отверстий.

2 Черновая и чистовая обработка основных отверстий.

3 Обработка шпоночных пазов и шлицевых канавок в основных отверстиях.

4 Обработка поверхностей стержня рычага, прорезей, пазов, фасонных исполнительных поверхностей вилок и рычагов.

5 Обработка вспомогательных отверстий, включая нарезание в них резьб.

6 Термическая обработка всей детали или отдельных ее поверхностей.

7 Отделочная обработка поверхностей, к которым предъявляются повышенные требования по точности и шероховатости.

В зависимости от конструктивных особенностей деталей и объема выпуска применяют такие варианты маршрута, при которых первый и второй этапы меняют местами или объединяют. При использовании многопозиционных агрегатных станков и многоцелевых фрезерно-сверлильно-расточных станков с ЧПУ в одной операции объединяют несколько этапов. Следует отметить, что детали данного типа нечасто подвергают термической обработке. Для повышения усталостной прочности ответственных рычагов, например шатунов, их поверхности иногда упрочняют, применяя дробеметный наклеп.

На разных операциях механической обработки используют различные технологические базы (рисунок 5.5 а-е) [27; 54; 56; 57]. Черновыми технологическими базами при обработке заготовок рычагов обычно служат необработанные торцы основных отверстий и наружные контуры бабышек (рисунок 5.5 а). При таком базировании фрезеруются торцы основных отверстий с одной стороны детали, а при использовании агрегатных многошпиндельных станков и многоцелевых станков с ЧПУ дополнительно обрабатываются основные отверстия и вспомогательные поверхности.

При обработке основных отверстий на универсальных станках с ручным управлением в качестве технологических баз принимают обработанные торцы и наружные необработанные поверхности бабышек, благодаря чему достигает-

ся равная толщина стенок головок (рисунок 5.5 б).

При формировании шпоночных и шлицевых пазов рычаги базируют по обработанным основным отверстиям и торцам (рисунок 5.5 в). Для угловой ориентации используют либо второе отверстие, либо необработанную поверхность стержня, либо вторую бобышку рычага.

При обработке прорезей, пазов, уступов, фасонных поверхностей рычагов, а также при сверлении вспомогательных отверстий в зависимости от конструкции детали можно применять схемы базирования, приведенные на рисунке 5.5 в-е.

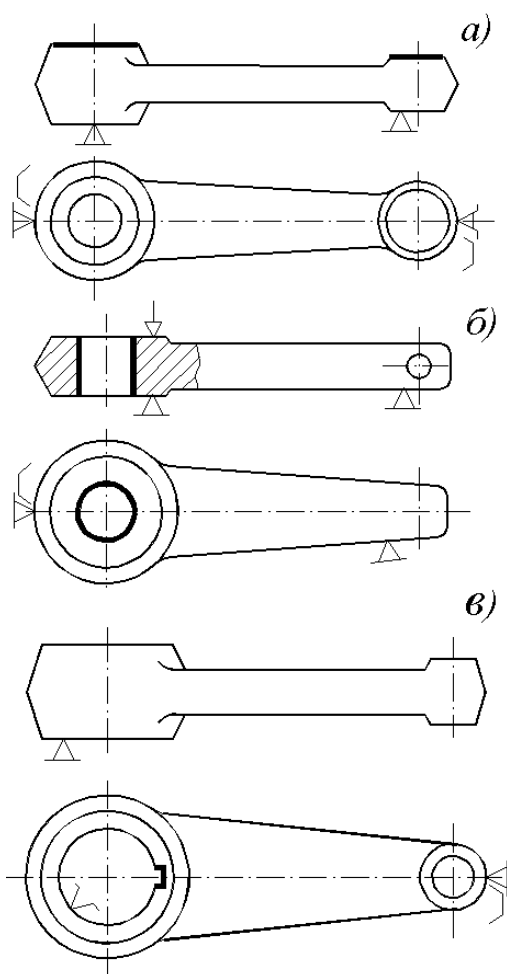
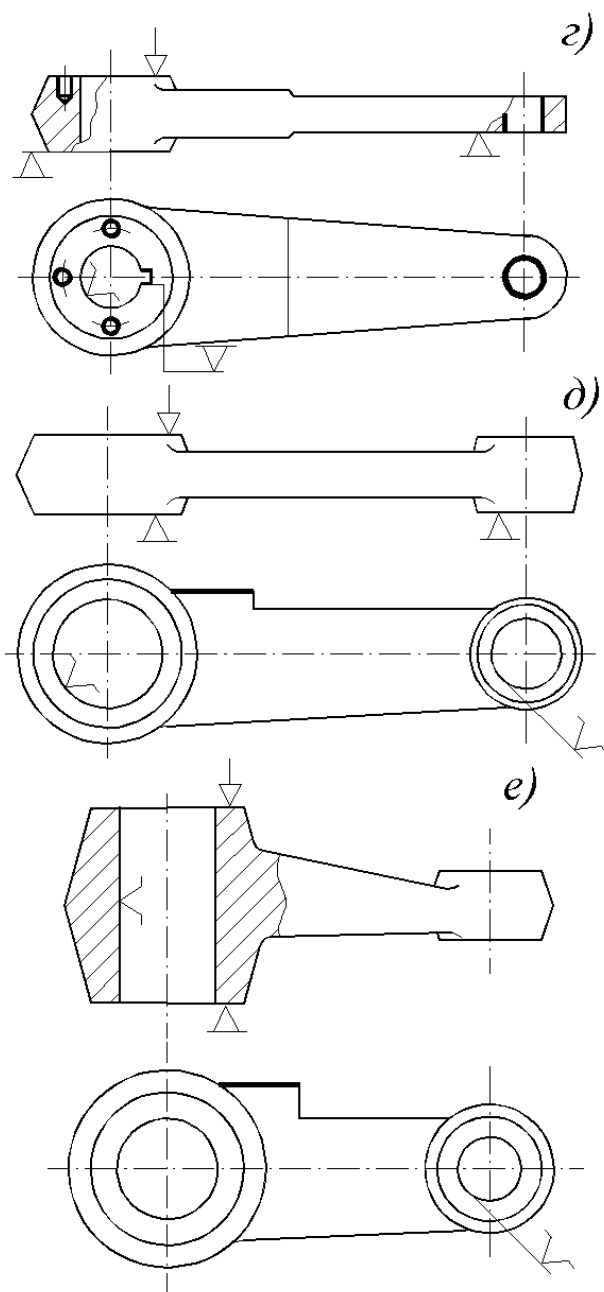


Рисунок 5.5 – Примеры базирования рычагов на различных операциях механической обработки



Продолжение рисунка 5.5

При наличии шлицевых или шпоночных пазов в основном отверстии целесообразно их использовать для угловой ориентации заготовки (рисунок 5.5 г). Для рычагов с двумя или более основными отверстиями могут быть применены схемы базирования по торцу и двум отверстиям, причем для рычагов с отношением длины к диаметру отверстия менее 1,5 положение заготовки относительно горизонтальных осей определяется базированием по торцам бобышек, которые являются установочной базой (рисунок 5.5 д). При соотношении длины к диаметру отверстия 1,5 и более положение заготовки относительно тех же осей определяется по отверстию, являющемуся двойной направляющей базой (рисунок 5.5 е). В этом случае торец бобышки будет служить опорной базой, ли-

шающей заготовку одной степени свободы.

Более подробно с особенностями изготовления деталей типа рычагов, со схемами базирования, последовательностью обработки, применяемыми оборудованием и технической оснасткой можно познакомиться в технической литературе [6; 35; 38; 54; 56]. Примеры технологических процессов изготовления некоторых деталей данного типа приведены в главе 6 настоящего пособия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Актуальные проблемы развития технологии машиностроения [Текст]. – М. : Знание, 1989. – 80 с.
- 2 Афонькин, М. Г. Производство заготовок в машиностроении [Текст] / М. Г. Афонькин, В. Б. Звягин. – СПб. : Политехника, 2007. – 378 с.
- 3 Балабанов, А. Н. Краткий справочник технолога-машиностроителя [Текст] / А. Н. Балабанов. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 464 с.
- 4 Гапонкин, В. А. Обработка резанием, металлорежущий инструмент и станки [Текст] / В. А. Гапонкин, Л. К. Лукашев, Т. Г. Суворова. – М. : Машиностроение, 1990. – 448 с.
- 5 Гжиров Р. И. Программирование обработки на станках с ЧПУ [Текст] : справочник / Р. И. Гжиров, П. П. Серебrenицкий. – Л. : Машиностроение, 1990. – 588 с.
- 6 Гурин, Ф. В. Технология автомобилестроения [Текст] / Ф. В. Гурин, М. Ф. Гурин. – М. : Машиностроение, 1986. – 296 с.
- 7 Данилевский, В. В. Технология машиностроения [Текст] / В. В. Данилевский. – М. : Высш. школа, 1984. – 416 с.
- 8 Демьянюк, Ф. С. Технологические основы поточно-автоматизированного производства [Текст] / Ф. С. Демьянюк. – М. : Высш. школа, 1968. – 700 с.
- 9 Дерябин, А. Л. Технология изготовления деталей на станках с ЧПУ и в ГПС [Текст] / А. Л. Дерябин, М. А. Эстерзон. – М. : Машиностроение, 1989. – 288 с.
- 10 Замятин, В. К. Гибкие автоматизированные системы сборки (ГАСС) [Текст] / В. К. Замятин // Техника машиностроения. – 1997. – № 2. – С. 84-96.
- 11 Инструмент для станков с ЧПУ, многоцелевых станков и ГПС [Текст] / И. Л. Фадюшин, Я. А. Музыкант, А. И. Мещеряков и др. – М. : Машиностроение, 1990. – 272 с.
- 12 Итин, А. М. Наладка и эксплуатация токарных многошпиндельных полуавтоматов [Текст] / А. М. Итин, Ю. А. Родичев. – М. : Машиностроение, 1977. – 136 с.
- 13 Качество машин [Текст] : справочник: в 2 т. / под общей ред. А. Г. Сулова. – М. : Машиностроение, 1995. – Т.1. – 256 с.
- 14 Кашкадамов, И. В. Технологические возможности токарных многоцелевых станков [Текст] / И. В. Кашкадамов. – М. : Машиностроение, 1991. – 80 с.
- 15 Каштальян, И. А. Обработка на станках с числовым программным управлением [Текст] : справочное пособие / И. А. Каштальян, В. И. Клевзович. – Мн. : Выш. школа, 1989. – 271 с.

- 16 Классификатор ЕСКД : Классы 71, 72, 73, 74, 75, 76: иллюстрированный определитель деталей [Текст]. – М. : Изд-во стандартов, 2006. – 40 с.
- 17 Ковшов, А. Н. Технология машиностроения [Текст] / А. Н. Ковшов. – СПб. : Лань, 2008. – 320 с.
- 18 Колесов, И. М. Основы технологии машиностроения [Текст] / И. М. Колесов. – М. : Высшая школа, 2001. – 591 с.
- 19 Комплексная технико-экономическая оценка способов производства заготовок в машиностроении [Текст] : обзор / В. Н. Петриченко, В. С. Шумихин, П. Н. Бурман и др. – М. : НИИмаш, 1983. – 44 с.
- 20 Косилова, А. Г. Технология производства подъемно-транспортных машин [Текст] / А. Г. Косилова, М. Ф. Сухов. – М. : Машиностроение, 1982. – 301 с.
- 21 Кузнецов, Ю. И. Оснастка для станков с ЧПУ [Текст]: справочник / Ю. И. Кузнецов, А. Р. Маслов, А. Н. Байков. – М. : Машиностроение, 1990. – 512 с.
- 22 Лавриненко, М. З. Технология машиностроения и технологические основы автоматизации [Текст] / М. З. Лавриненко. – К. : Выща школа, 1982. – 320 с.
- 23 Литье в кокиль [Текст] / под ред. А. И. Вейника. – М. : Машиностроение, 1980. – 415 с.
- 24 Литье по выплавляемым моделям [Текст] / под ред. Я. И. Шкленника и В. А. Озерова. – М. : Машиностроение, 1971. – 436 с.
- 25 Литье по газифицируемым моделям: основы теории и технологии [Текст] / под ред. Ю. А. Степанова. – М. : Машиностроение, 1976. – 224 с.
- 26 Литье под давлением [Текст] / М. Б. Беккер, М. Л. Заславский, Ю. Ф. Игнатенко и др. – М. : Машиностроение, 1990. – 400 с.
- 27 Маталин, А. А. Технология машиностроения [Текст] / А. А. Маталин. – Изд. 2-е перераб. и доп. – СПб. : Лань, 2008. – 512 с.
- 28 Матвеев, В. В. Проектирование экономичных технологических процессов в машиностроении [Текст] / В. В. Матвеев, Ф. И. Бойков, Ю. Н. Свиридов. – Челябинск : Южно-Уральское кн. изд-во, 1979. – 111 с.
- 29 Махаринский, Е. И. Основы технологии машиностроения [Текст] / Е. И. Махаринский, В. А. Горохов. – Мн. : Выш. школа, 1997. – 423 с.
- 30 Мосталыгин, Г. П. Проектирование технологических процессов обработки заготовок [Текст] / Г. П. Мосталыгин, В. Н. Орлов. – Свердловск : УПИ, 1991. – 112 с.
- 31 Мосталыгин, Г. П. Технология машиностроения [Текст] / Г. П. Мосталыгин, Н. Н. Толмачевский. – М. : Машиностроение, 1990. – 288 с.

- 32 Накатывание резьбы, червяков, шлицев и зубьев [Текст] / В. В. Лапин, М. И. Писаревский, В. В. Самсонов и др. – Л. : Машиностроение, 1986. – 228 с.
- 33 Небогатов, Ю. Е. Специальные виды литья [Текст] / Ю. Е. Небогатов, В. И. Тамаровский. – М. : Машиностроение, 1975. – 175 с.
- 34 Новиков, В. Ю. Технология станкостроения [Текст] / В. Ю. Новиков, А. Г. Схиртладзе. – М. : Машиностроение, 1990. – 256 с.
- 35 Обработка металлов резанием [Текст] : справочник технолога / под общей ред. А. А. Панова. – М. : Машиностроение-1, 2004. – 784 с.
- 36 Общемашиностроительные нормативы режимов резания [Текст] : справочник : в 2 т. / А. Д. Локтев, И. Ф. Гуцин, В. А. Батуев и др. – М. : Машиностроение, 1991. – Т.1. – 640 с.
- 37 Одинцов, Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием [Текст] : справочник / Л. Г. Одинцов. – М. : Машиностроение, 1987. – 328 с.
- 38 Основы технологии машиностроения [Текст] / под ред. В. С. Корсакова. – М. : Машиностроение, 1977. – 416 с.
- 39 Поляков, Д. И. Повышение эффективности технологических процессов в механообработке и сборке машин [Текст] : обзор / Д. И. Поляков, А. И. Костин. – М. : НИИмаш, 1978. – 62 с.
- 40 Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов [Текст] : справочник / под общей ред. В. И. Баранчикова. – М. : Машиностроение, 1990. – 400 с.
- 41 Прогрессивные технологические процессы в автостроении: Механическая обработка, сборка [Текст] / под ред. С. М. Степашкина. – М. : Машиностроение, 1980. – 320 с.
- 42 Проектирование технологии [Текст] / под общей ред. Ю. М. Соломенцева. – М. : Машиностроение, 1990. – 416 с.
- 43 Пуховский, Е. С. Технология гибкого автоматизированного производства [Текст] / Е. С. Пуховский, Н. Н. Мясников. – К. : Техника, 1989. – 207 с.
- 44 Расчеты экономической эффективности новой техники [Текст] : справочник / под общей ред. К. М. Великанова. – Л. : Машиностроение, 1990. – 448 с.
- 45 Руденко, П. А. Проектирование и производство заготовок в машиностроении [Текст] / П. А. Руденко, Ю. А. Харламов, В. М. Плескач. – К. : Выща школа, 1991. – 247 с.
- 46 Семенов, Е. И. Вопросы восстановления и повышения эффективности кузнечно-штампового производства [Текст] / Е. И. Семенов // Вестник машиностроения. – 1996. – № 11. – С.49-50.
- 47 Справочник инструментальщика [Текст] / под ред. И. А. Ординарцева. – Л. : Машиностроение, 1987. – 846 с.

- 48 Справочник конструктора-инструментальщика [Текст] / под общей ред. В. И. Баранчикова. – М. : Машиностроение, 1994. – 560 с.
- 49 Справочник технолога-машиностроителя [Текст] : в 2 т. / под ред. А. Г. Сулова. – М. : Машиностроение, 2006. – 912 с.
- 50 Справочник технолога-машиностроителя [Текст] : в 2 т. / под ред. А. Г. Сулова. – М. : Машиностроение, 2006.Т.2. – 946 с.
- 51 Технологичность конструкций машин [Текст] / под ред. В. И. Безжона и М. Е. Попова. – Ростов-н/Д. : Изд-во ДГТУ, 2009. – 64 с.
- 52 Технологичность конструкций изделий [Текст] : справочник / под ред. Ю. Д. Амирова. – М. : Машиностроение, 1985. – 368 с.
- 53 Технология газонефтяного и нефтехимического машиностроения [Текст] / Б. М. Базров, Б. А. Авербах, Я. А. Каминский и др. – М. : Машиностроение, 1986. – 384 с.
- 54 Технология машиностроения (специальная часть) [Текст] / А. А. Гусев, Е. Р. Ковальчук, И. М. Колесов и др. – М. : Машиностроение, 1986. – 480 с.
- 55 Технология обработки конструкционных материалов [Текст] / под ред. П. Г. Петрухи. – М. : Высш. школа, 1991. – 512 с.
- 56 Технология производства гусеничных и колесных машин [Текст] / под общей ред. Н. М. Капустина. – М. : Машиностроение, 1989. – 368 с.
- 57 Технология подъемно-транспортного машиностроения [Текст] / Н. П. Колесник, С. И. Козарь, А. А. Лабузов и др. – М. : Машиностроение, 1988. – 280 с.
- 58 Экономическое обоснование области применения металлорежущих станков с программным управлением [Текст] / В. Л. Кубланов, И. А. Маковецкая, А. П. Назаренко и др. – М. : Машиностроение, 1987. – 152 с.
- 59 URL : http://www.delcam.ru/public/sg_04.01_1.pdf
- 60 URL : <http://www.sapr.ru/article.aspx?id=7773&iid=316>
- 61 URL : <http://pres-forms.ru/company.html>
- 62 URL : <http://www.parsek-spb.ru/2010/05/01/mnogocelevaya-obrabotka/>
- 63 URL : <http://www.edgecam.ru/programm/tokar.php>
- 64 URL : http://www.tech-spektr.ru/text_8.html
- 65 URL : <http://www.stanok-mte.ru>

Учебное издание

Орлов Валерий Николаевич
Овсянников Виктор Евгеньевич
Шпитко Георгий Николаевич

**ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИННОВАЦИИ
В АВТОМОБИЛЕ- И ТРАКТОРОСТРОЕНИИ**

Учебное пособие

Редактор: О.Г. Арефьева

Подписано в печать 17.04.2014 Формат 60x84 1/16

Печать цифровая

Усл.печ.л. 9,6

Заказ 117

Тираж

Бумага тип. 85 гр.м²

Уч.-изд. л. 9,6

Цена свободная

Редакционно-издательский центр КГУ.

640669, г. Курган, Советская 63/ 4.

Курганский государственный университет.