

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Белорусский национальный технический университет

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Конспект лекций для студентов

специальности 1-38 01 01 «Механические и электромеханические приборы и аппараты»

*Учебное электронное издание*

Минск БНТУ 2009

УДК 681.2.002 (075.8)  
ББК 34.9я7  
Т 38

*Автор:*

А.В. Дроздов

*Рецензенты:*

А.С. Козерук, профессор кафедры «Лазерная техника и технология» Белорусского национального технического университета, доктор технических наук, профессор;

В.В. Савич, первый заместитель директора ГНУ «Институт порошковой металлургии» по научной работе, кандидат технических наук.

В данном конспекте лекций изложены технологические процессы производства типовых деталей и узлов приборов. Рассмотрены технологические процессы нанесения покрытий и сборки приборов. Изложены особенности изготовления оптических деталей. Приведены основные сведения о технологических возможностях холодной штамповки. Описаны характерные особенности производства электрических деталей приборов. Данный конспект лекций направлен на улучшение качества технологической подготовки инженера по приборостроению и формирует комплекс знаний, необходимых при разработке конструкций и проектировании процессов изготовления приборов и аппаратов.

Конспект лекций предназначен для студентов специальности 1-38 01 01 «Механические и электромеханические приборы и аппараты» при изучении ими учебной дисциплины «Технология приборостроения». Помимо этого, он может быть полезен студентам других специальностей машино- и приборостроительного направления при изучении ими курса «Технология приборостроения».

Белорусский национальный технический университет  
пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь  
Тел.(017) 293-91-01 факс (017) 292-40-81  
E-mail: dav7@tut.by  
Регистрационный № БНТУ/ПСФ80 - 3.2009

© БНТУ, 2009  
© Дроздов А.В., 2009  
© Дроздов А.В., компьютерный дизайн, 2009

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ .....  | 8  |
| 1.1. Изготовление осей и валов .....  | 8  |
| 1.1.1. Заготовки и способы закрепления .....  | 8  |
| 1.2. Основные варианты изготовления осей и валов .....  | 9  |
| 1.2.1. Выбор оборудования в зависимости от типа производства .....  | 11 |
| 1.2.2. Обработка валов на автоматах продольного точения .....   | 11 |
| 1.2.3. Обработка многоступенчатых валов на многорезцовых токарных станках .....   | 12 |
| 1.2.4. Обработка конических поверхностей .....  | 13 |
| 1.2.5. Тонкое точение и шлифование валов .....  | 13 |
| 1.2.5.1. Обработка на шлифовальных станках .....  | 13 |
| 1.2.5.2. Правка абразивного инструмента .....   | 14 |
| 1.2.5.3. Бесцентровое шлифование .....  | 15 |
| 1.2.6. Обработка шпоночных пазов валов .....  | 16 |
| 1.2.7. Обработка шлицевых поверхностей валов .....  | 18 |
| 1.2.8. Отделочные операции .....  | 20 |
| 1.2.9. Типовые маршруты изготовления валов .....  | 21 |
| 1.3. Обработка деталей типа втулок .....  | 22 |
| 1.3.1. Классификация и заготовки .....  | 22 |
| 1.3.2. Последовательность операций при обработке точных втулок .....  | 22 |
| 1.3.3. Изготовление втулок на токарно-револьверных станках .....  | 23 |
| 1.3.4. Обработка втулок с эксцентричными поверхностями .....  | 24 |
| 1.3.5. Внутреннее шлифование отверстий .....  | 25 |
| 1.3.6. Обработка шпоночных пазов и шлицевых поверхностей отверстий .....  | 26 |
| 1.3.7. Хонингование и калибрование отверстий .....  | 27 |
| 1.3.8. Типовой маршрут изготовления втулок .....  | 28 |
| 1.4. Изготовление корпусных деталей .....   | 29 |
| 1.4.1. Классификация и технологичность конструкции .....  | 29 |
| 1.4.2. Этапы обработки корпусов .....   | 29 |
| 1.4.3. Обработка основных отверстий .....   | 32 |
| 1.4.4. Обработка крепежных и других отверстий .....   | 34 |
| 1.4.5. Изготовление корпусов из пластмасс .....   | 34 |
| 1.4.6. Типовой маршрут изготовления корпусов призматического типа с плоским основанием и основным отверстием с осью, параллельной основанию ..... | 35 |
| 1.4.7. Типовой маршрут изготовления фланцев .....   | 36 |
| 1.5. Изготовление резьбовых деталей .....   | 37 |
| 1.5.1. Классификация и требования к резьбовым деталям .....   | 37 |
| 1.5.2. Методы нарезания резьбы .....  | 37 |
| 1.5.3. Нарезание резьбы на токарных станках резцами и гребенками .....  | 38 |
| 1.5.4. Вихревой метод нарезания резьбы .....  | 39 |
| 1.5.5. Нарезание резьбы плашками, метчиками, резьбонарезными головками .....  | 40 |
| 1.5.6. Фрезерование резьбы дисковыми и гребенчатыми фрезами .....   | 43 |
| 1.5.7. Формирование резьбы пластическим деформированием .....   | 44 |
| 1.5.8. Способы шлифования резьбы .....  | 45 |
| 1.6. Изготовление зубчатых колёс .....  | 46 |
| 1.6.1. Классификация, материалы и требования к зубчатым колесам .....   | 46 |
| 1.6.2. Методы получения заготовок .....   | 47 |
| 1.6.3. Зубонарезание цилиндрических колес по методу копирования .....   | 48 |
| 1.6.4. Изготовление зубчатых колёс по методу обката .....   | 50 |
| 1.6.5. Зубонарезание червячных колес .....  | 53 |

|   |    |
|---|----|
| 1.6.6. Зубонарезание конических колес .....                                 | 54 |
| 1.6.7. Накатывание зубчатых колес .....                                     | 56 |
| 1.6.8. Зубоотделочные операции .....  | 57 |
| 1.6.9. Штамповка зубчатых колес и плоских деталей с зубчатым сектором ..... | 59 |
| 1.6.10. Типовой маршрут изготовления зубчатых колес .....                   | 60 |
| 1.7. Изготовление пружин .....  | 62 |
| 1.7.1. Классификация, материалы и требования к пружинам .....               | 62 |
| 1.7.2. Изготовление винтовых пружин .....                                   | 63 |
| 1.7.2.1. Навивка заготовок пружин .....                                     | 63 |
| 1.7.2.2. Шлифование торцов опорных витков .....                             | 64 |
| 1.7.2.3. Термическая обработка .....  | 65 |
| 1.7.2.4. Доводка осевой силы и старение пружины .....                       | 65 |
| 1.7.3. Производство плоских спиральных пружин (волосков) .....              | 65 |
| 1.7.3.1. Прокатка лент .....  | 66 |
| 1.7.3.2. Навивка спиральных пружин .....                                    | 66 |
| 1.7.3.3. Термическая обработка спиральных пружин .....                      | 68 |
| 1.8. Изготовление циферблатов и шкал .....                                  | 69 |
| 1.8.1. Основные требования .....  | 69 |
| 1.8.2. Способы получения заготовок .....                                    | 69 |
| 1.8.3. Методы механического нанесения штрихов и знаков .....                | 69 |
| 1.8.3.1. Оцифровка шкал .....   | 71 |
| 1.8.4. Рельефная штамповка и набивка .....                                  | 71 |
| 1.8.5. Изготовление шкал фотографированием .....                            | 72 |
| 1.9. Изготовление платин и мостов .....                                     | 73 |
| 1.9.1. Основные требования .....  | 73 |
| 1.9.2. Заготовки .....  | 74 |
| 1.9.3. Методы обработки плоскостей .....                                    | 74 |
| 1.9.4. Методы обработки отверстий .....                                     | 74 |
| 1.9.4.1. Сверление в кондукторе .....                                       | 75 |
| 1.9.4.2. Пробивание отверстий в штампе .....                                | 75 |
| 1.9.4.3. Сверление по координатам .....                                     | 75 |
| 1.9.4.4. Сверление по установочным шаблонам .....                           | 75 |
| 1.9.4.5. Сверление отверстий по кернам .....                                | 76 |
| 1.9.4.6. Калибрование отверстий в штампе .....                              | 77 |
| 1.10. Изготовление упругих чувствительных элементов .....                   | 77 |
| 1.10.1. Мембраны и мембранные коробки .....                                 | 78 |
| 1.10.2. Применяемые материалы .....   | 78 |
| 1.10.3. Технологические процессы изготовления .....                         | 79 |
| 1.10.4. Технология изготовления сильфонов .....                             | 82 |
| 1.10.4.1. Назначение сильфонов .....  | 82 |
| 1.10.4.2. Применяемые материалы .....                                       | 82 |
| 1.10.4.3. Технологический процесс изготовления мехов .....                  | 82 |
| 2. ПОКРЫТИЯ И АНТИКОРРОЗИОННАЯ ЗАЩИТА ДЕТАЛЕЙ ПРИБОРОВ .....                | 85 |
| 2.1. Подготовка поверхности металлов перед нанесением покрытий .....        | 85 |
| 2.1.1. Классификация покрытий .....   | 85 |
| 2.1.2. Подготовка покрытий .....  | 85 |
| 2.1.2.1. Механические и химические способы очистки поверхностей .....       | 85 |
| 2.1.3. Электрохимические способы подготовки поверхностей .....              | 87 |
| 2.2. Неметаллические неорганические покрытия .....                          | 87 |
| 2.2.1. Оксидные покрытия для черных металлов .....                          | 87 |

|  |     |
|--|-----|
| 2.2.2. Фосфатные покрытия .....  | 88  |
| 2.2.3. Оксидные покрытия для цветных металлов.....                                 | 88  |
| 2.3. Металлические покрытия .....  | 89  |
| 2.3.1. Электрохимический метод нанесения покрытий.....                             | 90  |
| 2.3.2. Гальванические покрытия.....  | 92  |
| 2.3.3. Металлизация.....   | 92  |
| 2.3.4. Контроль качества покрытия .....  | 93  |
| 2.4. Лакокрасочные покрытия .....  | 93  |
| 3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ .....                               | 95  |
| 3.1. Общие сведения о сборке .....   | 95  |
| 3.1.1. Отработка конструкции изделия на технологичность .....                      | 95  |
| 3.1.2. Узловая и общая сборка .....  | 95  |
| 3.1.3. Выбор организационной формы сборки .....                                    | 95  |
| 3.1.4. Выбор метода обеспечения заданной точности .....                            | 96  |
| 3.1.5. Исходные данные и последовательность проектирования.....                    | 97  |
| 3.1.6. Разработка технологического процесса сборки.....                            | 98  |
| 3.2. Типовые технологические процессы сборки .....                                 | 99  |
| 3.2.1. Подготовка деталей к сборке.....  | 99  |
| 3.3. Сборка разъемных соединений.....  | 99  |
| 3.3.1. Резьбовые соединения .....  | 99  |
| 3.3.2. Соединения штифтами, шпильками и шпильками.....                             | 100 |
| 3.3.3. Шпоночные, шлицевые и конические соединения.....                            | 101 |
| 3.4. Сборка неподвижных неразъемных соединений.....                                | 102 |
| 3.4.4. Соединения с натягом .....  | 102 |
| 3.4.4.1. Продольно-прессовые соединения .....                                      | 102 |
| 3.4.4.2. Поперечно-прессовые соединения.....                                       | 103 |
| 3.4.4.3. Соединения с натягом, собираемые вибрационно-импульсным воздействием..... | 104 |
| 3.4.5. Сборка соединений путем пластического деформирования.....                   | 104 |
| 3.4.6. Сборка пайкой и склеиванием .....   | 106 |
| 3.4.7. Сварные соединения.....   | 107 |
| 3.4.8. Клепаные соединения.....  | 108 |
| 4. ТЕХНОЛОГИЯ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ .....   | 111 |
| 4.1. Оптические материалы и их свойства.....                                       | 111 |
| 4.1.1. Оптическое стекло .....   | 111 |
| 4.1.2. Цветное стекло.....   | 112 |
| 4.1.3. Органическое стекло .....   | 112 |
| 4.1.4. Ситалл .....  | 112 |
| 4.1.5. Кристаллы оптические.....   | 112 |
| 4.1.6. Оптическая керамика (иртраны) .....   | 112 |
| 4.2. Заготовки оптических деталей.....   | 113 |
| 4.2.1. Разделка стекла раскалыванием, распиливанием, сверлением.....               | 113 |
| 4.2.2. Горячее формообразование заготовок .....                                    | 115 |
| 4.3. Абразивные, полирующие и вспомогательные материалы.....                       | 117 |
| 4.3.1. Шлифующие абразивы естественного и искусственного происхождения .....       | 117 |
| 4.3.2. Зернистость и зерновой состав абразивов.....                                | 118 |
| 4.3.3. Полирующие абразивы .....   | 119 |
| 4.3.4. Вспомогательные материалы .....   | 119 |
| 4.3.4.1. Смазочно-охлаждающие жидкости .....                                       | 119 |
| 4.3.4.2. Наклеечные материалы.....   | 120 |
| 4.3.4.3. Материалы полировальников .....   | 120 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.3.4.4. Защитные лаки и промывочные жидкости.....                              | 121 |
| 4.4. Инструмент и приспособления для шлифования и полирования.....              | 121 |
| 4.4.1. Абразивные круги .....   | 121 |
| 4.4.2. Инструменты для обработки деталей свободным абразивом и притиры.....     | 121 |
| 4.4.3. Инструмент и приспособления для крепления заготовок .....                | 123 |
| 4.5. Способы формирования сферических и плоских поверхностей .....              | 125 |
| 4.5.1. Шлифование стекла свободным абразивом .....                              | 125 |
| 4.5.2. Процесс полирования стекла .....   | 126 |
| 4.5.3. Влияние основных технологических факторов на процесс шлифования.....     | 127 |
| 4.5.3.1. Действие жидкости.....   | 127 |
| 4.5.3.2. Природа и величина абразивных зерен.....                               | 127 |
| 4.5.3.3. Количество абразивных зерен .....                                      | 127 |
| 4.5.3.4. Скорость вращения шлифовальника.....                                   | 128 |
| 4.5.3.5. Материал шлифовальника.....  | 128 |
| 4.5.3.6. Температура поверхности стекла и окружающей среды.....                 | 128 |
| 4.5.4. Станки с жестко устанавливаемым инструментом.....                        | 128 |
| 4.5.5. Обработка оптических деталей методом свободного притира.....             | 129 |
| 4.6. Технологические процессы изготовления типовых оптических деталей.....      | 130 |
| 4.6.1. Показатели качества оптических деталей .....                             | 130 |
| 4.6.2. Изготовление плоскопараллельных пластин и клиньев .....                  | 131 |
| 4.6.3. Технологический процесс изготовления прямоугольных призм .....           | 134 |
| 4.6.4. Технологический процесс изготовления линз .....                          | 137 |
| 4.6.5. Соединение оптических деталей .....                                      | 140 |
| 4.7. Технологические процессы изготовления специальных оптических деталей ..... | 141 |
| 4.7.1. Изготовление пробных стекол .....  | 141 |
| 4.7.2. Изготовление асферических поверхностей .....                             | 141 |
| 4.7.3. Изготовление шкал и сеток .....  | 143 |
| 5. ХОЛОДНАЯ ШТАМПОВКА.....  | 144 |
| 5.1. Отрезка.....   | 144 |
| 5.2. Вырубка .....  | 145 |
| 5.3. Пробивка .....   | 146 |
| 5.4. Надрезка.....  | 147 |
| 5.5. Зачистка .....   | 147 |
| 5.6. Калибровка .....   | 147 |
| 5.7. Гибка.....   | 148 |
| 5.8. Правка.....  | 149 |
| 5.9. Вытяжка .....  | 149 |
| 5.10. Штамповка истечением .....  | 149 |
| 5.11. Выдавливание .....  | 150 |
| 5.12. Рельефная формовка (штамповка) .....                                      | 150 |
| 5.13. Отбортовка .....  | 150 |
| 5.14. Чеканка .....   | 151 |
| 5.15. Объемная штамповка .....  | 151 |
| 5.16. Комбинированная штамповка .....   | 151 |
| 6. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИБОРОВ .....                          | 153 |
| 6.1. Постоянные магниты .....   | 153 |
| 6.1.1. Типовые формы магнитов .....   | 153 |
| 6.1.2. Материалы для магнитов.....  | 154 |
| 6.1.3. Технология изготовления магнитов.....                                    | 154 |
| 6.1.3.1. Изготовление магнитов из алии и алниси литьем.....                     | 154 |

|   |     |
|---|-----|
| 6.1.4. Изготовление магнитов спеканием (металлокерамика) .....    | 155 |
| 6.1.5. Изготовление магнитов прессованием (металлопластика) ..... | 156 |
| 6.1.6. Классификация магнитопроводов .....                        | 156 |
| 6.1.7. Изготовление формованных магнитопроводов .....             | 157 |
| 6.1.8. Изготовление пластинчатых магнитопроводов .....            | 158 |
| 6.1.9. Изготовление ленточных магнитопроводов .....               | 160 |
| 6.2. Намотки .....  | 161 |
| 6.2.1. Классификация намоток .....                                | 162 |
| 6.2.2. Применяемые материалы и их технологические свойства .....  | 163 |
| 6.2.3. Намотка катушки трансформатора .....                       | 163 |
| 6.2.4. Намотка каркасных и безкаркасных обмоток .....             | 165 |
| 6.2.5. Пропитка, заливка и герметизация намоток .....             | 165 |
| ЛИТЕРАТУРА .....  | 167 |

# 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

## 1.1. Изготовление осей и валов

### 1.1.1. Заготовки и способы закрепления

При изготовлении валов исходные заготовки получают либо путем пластического деформирования (ковка, штамповка, обжатие на ротационно-ковочных машинах, электровысадка, поперечно-винтовая прокатка), либо путем резки сортового или калиброванного проката.

Эффективность использования металла характеризуется отношением массы готовой детали  $G_d$  к расходу металла на исходную заготовку  $G_3$ . Это отношение называют коэффициентом использования металла

$$K_d = G_d / G_3. \quad (1.1)$$

В крупносерийном и массовом производстве преобладают методы получения заготовок с коэффициентом использования металлов 0,7...0,95. Полые валы целесообразно изготавливать из труб.

В единичном и мелкосерийном производствах для заготовок с небольшим перепадом диаметральных размеров используют горячекатаный нормальный прокат. Он поступает в виде многометровых прутков, из которых в заготовительных цехах нарезаются заготовки необходимой длины. Разрезку производят на:

- а) механических ножовках в единичном и мелкосерийном производствах (не обеспечивают высокой перпендикулярности торцов заготовок);
- б) токарных станках с большим отверстием шпинделя одним или двумя расположенными друг против друга отрезными резцами;
- в) отрезных круглопильных станках, в серийном и массовом производствах (диаметр прутка до 240 мм, шероховатость торцов  $Ra = 25$  мкм);
- г) на абразивно-отрезных станках, абразивными кругами толщиной 3...6 мм.

Реже применяют резку на токарно-отрезных станках отрезными резцами, на фрезерных станках прорезными фрезами, резка фрикционными пилами.

Прокат поступает с заметными отклонениями от прямолинейности оси. Для устранения кривизны прутки перед резкой подвергают правке на правильно-калибровочных станках. Нарезанные заготовки перед началом обработки, а иногда и в процессе обработки подвергают правке.

При значительном числе ступеней и существенной разнице диаметров применяют способковки на вертикальных радиально-ковочных машинах (ротационная ковка) (рисунок 1.1а).

В серийном производстве распространена горячая штамповка заготовок в открытых штампах (облойная штамповка), а в крупносерийном и массовом производствах - в закрытых штампах (безоблойная штамповка) (рисунок 1.1б). При изготовлении заготовок с односторонним утолщением - штамповка на горизонтально-ковочных машинах (рисунок 1.1в).



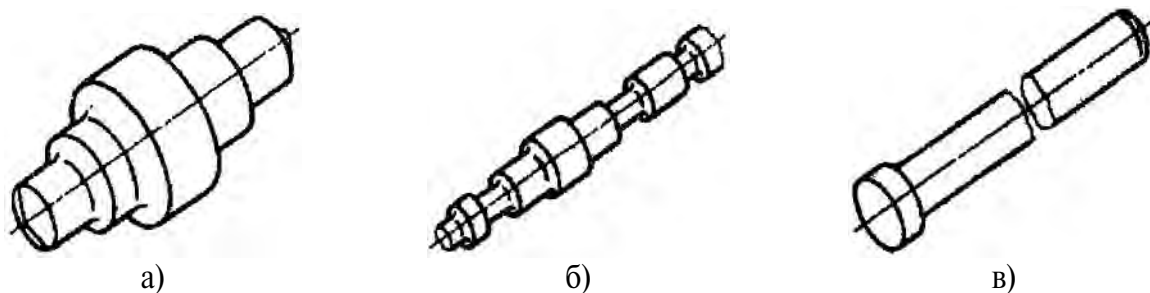


Рисунок 1.1 – Заготовки для валков

## 1.2. Основные варианты изготовления осей и валов

Выбор оборудования и технологии изготовления валов зависит от габаритных размеров детали, ее точности и типа производства.

На прутковых автоматах и токарно-револьверных станках валы изготавливаются из прутка при консольном креплении материала. Базой для обработки служит наружная поверхность прутка (рисунок 1.2а).



Рисунок 1.2 – Схема установки валика в патроне и в центрах:  
а – обточка в патроне; б – обточка в центрах

На токарно-винторезных станках валы изготавливаются из единичных заготовок, которые устанавливаются в центрах станка, и базой для обработки служат центровые отверстия (рисунок 1.2б).

При одинаковых размерах жесткость детали при обработке в центрах в 16 раз больше ее жесткости при консольном креплении. Поэтому на токарно-револьверных станках и прутковых автоматах обрабатывают только короткие валы с отношением длины к диаметру  $l / d < 5$ . При большем соотношении  $l / d$  рекомендуется обработка в центрах (исключение обработка валов на автоматах продольного точения).

В первой операции за две установки производятся подрезка торцов и центровка отверстий, т. е. сверление цилиндрических и зенкование конических гнезд (рисунок 1.3а). Эту операцию удобнее производить на токарно-револьверном станке. База при центровке отверстий - наружная поверхность; заготовку зажимают в цанговом или трехкулачковом патроне; при подрезании второго торца для получения размера  $L$  деталь устанавливают до упора в торец  $K$ , который является опорной установочной базой.

В крупносерийном производстве для центровки отверстий применяют специальные центровочные станки, в которых сверление отверстий производят одновременно с двух сторон комбинированными центровочными сверлами, установленными в подвижных бабках.

Обычно длина заготовки  $L$  является окончательным размером вала; если по условиям работы детали центровые отверстия не могут быть оставлены, то после обработки детали в центрах их срезают; при этом размер  $L$  должен учитывать припуск на последующую подрезку торцов.

На рисунке 1.3б показаны центровые отверстия: с углом основного конуса  $60^\circ$  и дополнительным конусом с углом  $120^\circ$ , который служит для предохранения основного конуса от повреждений при транспортировке. Для валов при  $D_0 < 4$  мм применяют наружные центры (рисунок 1.3в) и обработку вала производят в так называемых обратных центрах.

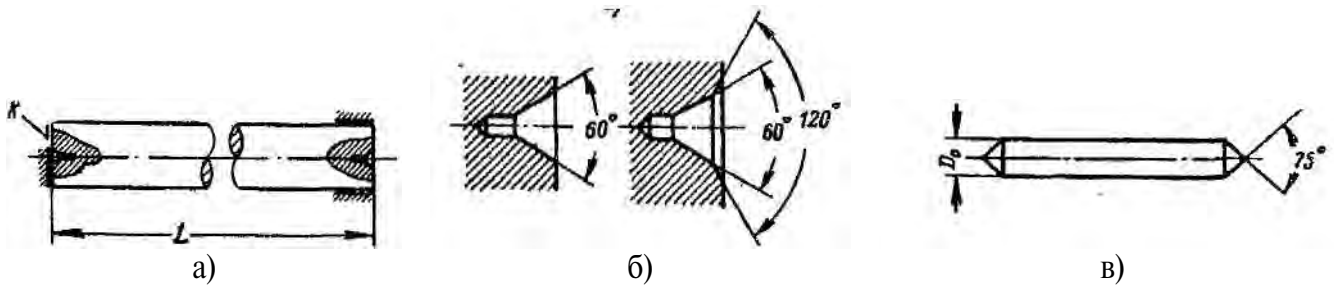


Рисунок 1.3 – Центровка заготовок

При определении последовательности обработки ступеней валов исходят из условия минимальных временных затрат.

Два варианта обработки ступеней вала:

1. все ступени обрабатываются от одного общего торца (рисунок 1.4а) и общий путь, пройденный резцом, составит  $L_1 = l_1 + l_2 + l_3 + l_1 + l_2 + l_3$  (при  $l_1 = l_2 = l_3 = l$   $L = 6l$ ).

2. каждая ступень обрабатывается от своего торца (рисунок 1.4б). Если принять, что при обработке первой ступени применяются два прохода, то общий путь резца составит  $L_2 = 2l_1 + l_2 + l_3 = 4l$ .

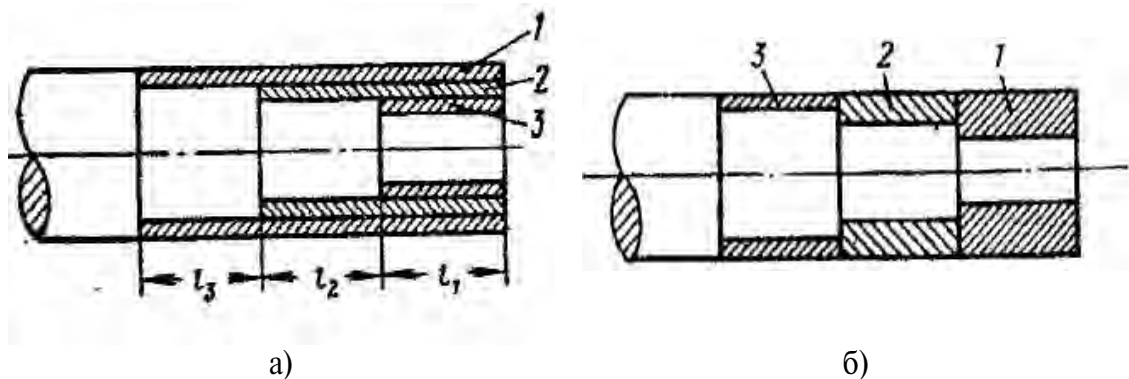


Рисунок 1.4 – Последовательность обработки уступов валика

Обработка по второму варианту более производительна. Иногда при использовании горячекатаного материала вначале обдирают верхний слой, а затем обрабатывают каждую ступень от своего торца.

При обработке вала по 12-му качеству применяют одну обточку, по 11-му качеству на длинных участках черновую и чистовую обточку, на коротких - одну обточку. При обработке по 8-му качеству и выше применяют черновую и чистовую обточку чистовым резцом (припуск на чистовую обточку - 0,5 мм на диаметр).

Основная характеристика любого металлорежущего станка устанавливает предельные размеры обрабатываемых на нем деталей. Для токарно-винторезных и шлифовальных станков это высота центров и расстояние между ними, для токарно-револьверных станков и прутковых автоматов - диаметр отверстия шпинделя, через которое проходит обрабатываемый пруток.

Предельные размеры деталей по диаметру при обработке из прутка на револьверных станках не должны превышать 100 мм, на автоматах - 50 мм; наибольшая длина деталей должна быть не более 150-200 мм и 60-70 мм соответственно. Детали, имеющие размеры больше указанных, следует обрабатывать в центрах.

Данные экономической точности обработки валов на различных станках приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Экономическая точность обработки на станках

| Станки                          | Квалитет диаметральных размеров | Квалитет продольных размеров | Шероховатость поверхности Ra, мкм |
|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Токарно-винторезные             | 8-9                             | 8-11                         | 3,2-0,8                           |
| Токарно-револьверные и автоматы | 8-11                            | 11-12                        | 3,2-0,8                           |
| Шлифовальные                    | 7                               | --                           | 0,4                               |

При обработке детали на токарных станках в центрах передний центр вращается вместе со шпинделем и осью вращения детали является линия, соединяющая ось вращения шпинделя с осью центра задней бабки. Для получения идеальной цилиндричности в осевом направлении смещают заднюю бабку в поперечном направлении и устанавливают ось вращения детали параллельно направлению движения суппорта. Точность формы в поперечном сечении зависит от овальности шеек шпинделя станка. Поперечные колебания оси шпинделя передаются на деталь в виде овальности.

На шлифовальных станках при обработке в центрах передний центр не вращается, шлифование производится на неподвижных так называемых «мертвых центрах». В этом случае ось вращения детали - линия, соединяющая оси центров передней и задней бабок. Она может быть установлена параллельно движению нижнего стола с точностью до 1-2 мкм на длине 200 мм. Точность формы в поперечном сечении при шлифовании в центрах зависит только от точности центровых отверстий детали и не зависит от точности шпинделя передней бабки.

При тщательно выполненных центровых отверстиях и соответствующей настройке станка можно обеспечить точность в осевом сечении на длине 200 мм до 2 мкм и овальность до 1 мкм.

### 1.2.1. Выбор оборудования в зависимости от типа производства

Револьверные станки по сравнению с токарными имеют следующие преимущества:

- 1) установка в револьверной головке большого числа инструментов позволяет обрабатывать много поверхностей за один установ;
- 2) возможность совмещения инструмента для одновременной обработки нескольких поверхностей;
- 3) возможность работы по упорам, что обеспечивает автоматическое получение линейных и диаметральных размеров.

Преимущество автоматов по сравнению с токарно-револьверными станками заключается в автоматизации всех основных и вспомогательных приемов. Недостаток токарно-револьверных станков и автоматов - длительность их настройки (2-6 часа).

Целесообразно применять автоматы в крупносерийном, токарно-револьверные станки - в серийном, а токарно-винторезные - в мелкосерийном и индивидуальном производствах.

### 1.2.2. Обработка валов на автоматах продольного точения

В этих станках (рисунок 1.5) продольная подача сообщается заготовке, которая при вращении от передней бабки проходит через втулку-опору (неподвижный люнет). Резцы

расположены вблизи люнета в 4-5 суппортах и получают поочередно только поперечные перемещения. Так как усилие резания всегда действует возле опоры, жесткость валика в месте приложения усилия остается постоянной независимо от длины обрабатываемой детали. Поэтому продольно-токарные автоматы применяются для обработки деталей с большим отношением длины к диаметру. Точность обработки зависит от точности прутка, точности настройки и при обработке двух ступеней вала одним резцом - от точности кулачков.

С помощью специальных приспособлений на продольно-токарных автоматах можно сверлить отверстия в детали и нарезать резьбу.

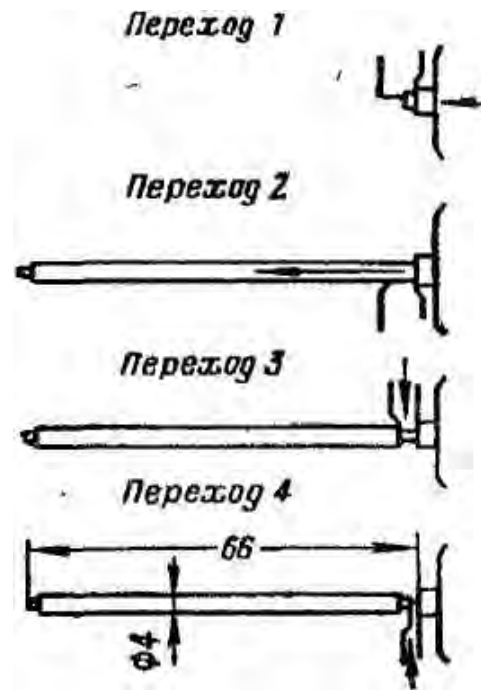


Рисунок 1.5 – План обработки

### 1.2.3. Обработка многоступенчатых валов на многолезцовых токарных станках

Обтачивание многолезцовыми головками повышает производительность обработки за счет совмещения переходов и автоматической настройки операционных размеров.

Проектируя такую операцию, решают вопрос о размещении резцов. По схеме, приведенной на рисунке 1.6а, каждая ступень вала обрабатывается одним резцом. Продольный ход суппорта при этом определяется длиной наибольшей ступени, обрабатываемой резцом 1, а резцы 2 и 3 совершают вспомогательный ход. При наладке станка по наименьшей ступени  $l_3$  (рисунок 1.6б) ход суппорта будет равен длине ступени  $l_3$ . При этом для обтачивания других ступеней устанавливают по несколько резцов, причем число резцов зависит от отношения длин ступеней  $l_1/l_2$  и  $l_2/l_3$ . Второй вариант более производителен, но его недостатком является появление уступов при обтачивании ступени несколькими резцами (из-за неточности установки резцов на размер и разной интенсивности их изнашивания).

При точении ступеней малого диаметра возможны недопустимо большие глубины резания. В этом случае применяют метод деления припуска. Одним из вариантов может быть удаление резцами 1, 2 и 3 (рисунок 1.6в) частей припуска  $Z_1$ ,  $Z_2$  и  $Z_3$ . При этом варианте продольный суппорт перемещается на всю длину  $l$  обрабатываемых ступеней.

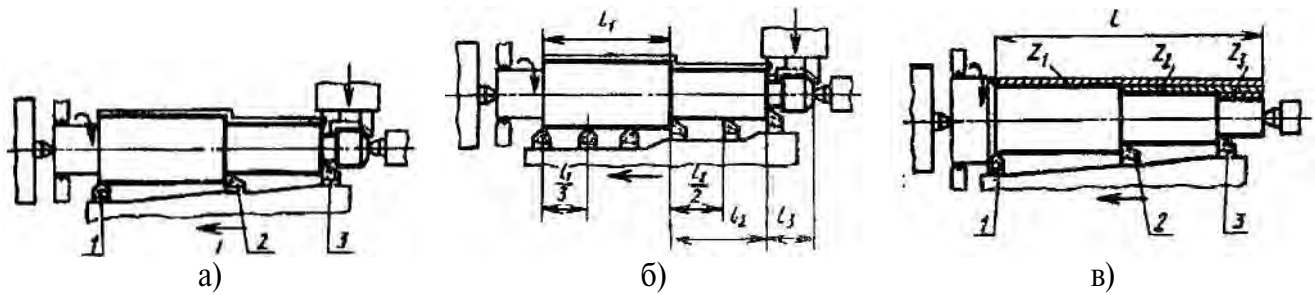


Рисунок 1.6 – Схема обтачивания валков на станках с многолезцовыми головками

Обработка валов на станках с многолезцовой головкой требует длительной их наладки (установку резцов производят по эталонной детали или вне станка, применяя сменные блоки). Метод применяют в серийном и массовом производствах.

#### 1.2.4. Обработка конических поверхностей

Короткие наружные конические поверхности можно обтачивать широкими фасонными резцами на токарно-револьверных станках и автоматах.

При всех способах обработки протяженных конических поверхностей на токарных станках направление движения резца устанавливается под углом к оси вращения детали в горизонтальной плоскости, равным половине угла требуемого конуса. Способы обработки:

1) верхние салазки суппорта поворачиваются на требуемый угол, резец перемещается при ручной подаче. Этот способ применяется при обработке крутых и коротких конусов;

2) задняя бабка смещается в поперечном направлении. Так обрабатываются пологие длинные конусы в центрах станка, подача может быть ручной и автоматической. Однако центровые отверстия неравномерно прилегают к центрам и быстро разрабатываются, поэтому участки детали, обработанные за два установа, могут быть несоосны;

3) конусы обтачиваются с помощью копировальной линейки, которая соединяется с поперечным суппортом. Винт поперечной подачи суппорта освобождается и при автоматической продольной подаче резец перемещается по образующей конуса.

#### 1.2.5. Тонкое точение и шлифование валов

Тонкое (алмазное) точение применяется для отделочной обработки деталей из цветных металлов и сплавов. Обработку производят алмазными резцами или резцами, оснащенными твердыми сплавами, при высоких скоростях резания, малых подачах и малой глубине резания. Тонкое точение осуществляют на быстроходных станках с частотой вращения шпинделя от 1000 до 6000 об/мин. Алмазным точением достигают 7-6-го квалитетов точности и шероховатости  $Ra = 1,25-0,08$  мкм. Однако поверхности валов по 6-му квалитету точности при  $Ra = 0,8-0,4$  мкм лучше обрабатывать на шлифовальных станках; это же относится и к длинным участкам валов 8-го квалитета точности.

##### 1.2.5.1. Обработка на шлифовальных станках

Все наружные цилиндрические поверхности с точностью выше 8 квалитета и  $Ra = 1,6-0,4$  мкм после чистового точения шлифуют. Операция производится на кругло- и бесцентрово-шлифовальных станках. На рисунке 1.7 представлена схема наиболее распространенного способа наружного шлифования с продольной подачей на круглошлифовальном станке. Заготовки устанавливают в центрах, патроне, цанге или в специальном приспособлении.

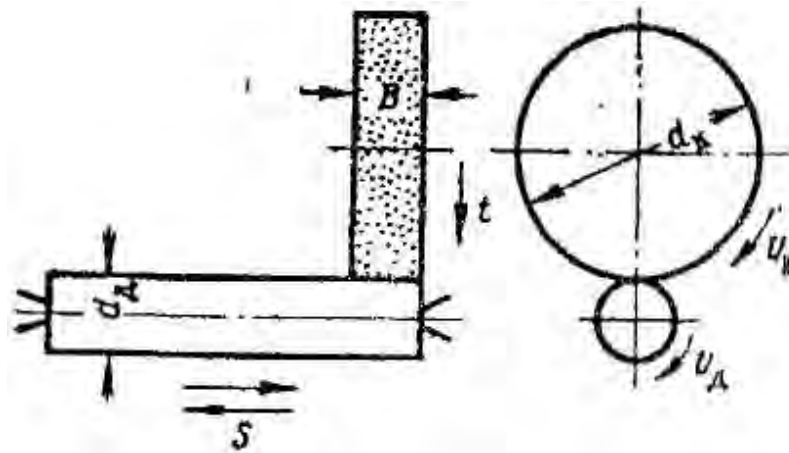


Рисунок 1.7 – Схема круглого шлифования валика в центрах

Шлифовальный круг и деталь получают вращение в одном направлении. Окружную скорость круга (скорость резания) определяют из уравнения

$$V_k = \frac{\pi d_k n_k}{60 \cdot 1000}, \text{ м/с} \quad (1.2)$$

где  $d_k$  - диаметр круга;  
 $n_k$  - число оборотов круга в минуту.

Нормальная скорость резания при шлифовании, обеспечивающая должную чистоту поверхности составляет 25-30 м/с. Окружную скорость детали определяют из уравнения

$$V_o = \frac{\pi d_d n_d}{1000}, \text{ м/мин} \quad (1.3)$$

где  $d_d$  - диаметр детали,  
 $n_d$  - число оборотов детали в минуту.

Окружная скорость детали составляет 10-20 м/мин.

При шлифовании распространены два метода: осциллирующее шлифование и врезное шлифование. Осциллирующее шлифование применяется для обработки поверхностей, протяжённость которых больше ширины шлифовального круга. Оно осуществляется за четыре этапа: врезание, чистовое шлифование, выхаживание и отвод. Деталь при этом получает продольную подачу. Поперечная подача шлифовального круга на глубину шлифования  $t = 0,005-0,04$  мм/дв.ход. В конце обработки последние продольные проходы выполняют без поперечной подачи, так называемое выхаживание.

Врезное шлифование применяют при обработке коротких шеек, протяжённость которых меньше ширины шлифовального круга. Его преимущество - большая производительность и простота наладки. Недостаток - уступает продольному шлифованию по качеству поверхности. Применяют в массовом и крупносерийном производстве.

Припуск на шлифование 0,2-0,3 мм на диаметр. Достигается 5-4-й квалитеты при  $Ra = 0,4-0,2$  мкм.

### 1.2.5.2. Правка абразивного инструмента

При выборе шлифовального круга исходят из следующего. Абразивный материал круга выбирают в зависимости от рода обрабатываемого материала: для шлифования стали

применяют электрокорунд нормальный и белый, для шлифования чугуна и цветных металлов - карбид кремния черный.

Зернистость круга определяет шероховатость шлифуемой поверхности, для чистового шлифования применяют круги с зернистостью от 36 до 80.

Выбор круга по твердости зависит от условий его работы. Различают работу круга с самозатачиванием и с затуплением.

В первом случае при затуплении зерен круга возрастает сопротивление резанию и удельное давление на зерно. Когда оно превзойдет прочность зерна или связки, зерна расщепляются с образованием новых режущих кромок или же выкрашиваются с появлением на их месте новых острых зерен. Задача связки - удерживать зерно в круге до момента, когда оно потеряет свою работоспособность. Так как при шлифовании твердых материалов зерна затупляются быстрее, то тогда круг должен быть достаточно мягким, чтобы освободить затупляющееся зерно. Отсюда следует правило: чем тверже обрабатываемый материал, тем мягче должен быть круг, и наоборот.

При шлифовании с затуплением круг работает до появления признаков затупления. Наиболее важный признак - заметное ухудшение чистоты поверхности, так как поры круга забиваются отходами шлифования, происходит так называемое засаливание круга. Кроме того, зерна затупляются и поэтому на поверхности круга появляются участки, потерявшие способность резать металл. Для удаления затупленного слоя с поверхности круга и обнажения новых острых режущих зерен периодически производят правку круга. При чистовом шлифовании принят метод работы круга с затуплением и периодической правкой его алмазом. Наиболее употребительными для шлифования стальных деталей являются круги, имеющие твердость CM1, CM2, C1 и C2.

### 1.2.5.3. Бесцентровое шлифование

Производится на бесцентрово-шлифовальных станках. Вал 1 (рисунок 1.8) помещается между рабочим 2 и ведущим 3 шлифовальными кругами, которые вращаются в одну сторону. Вал поддерживается направляющей линейкой 4.

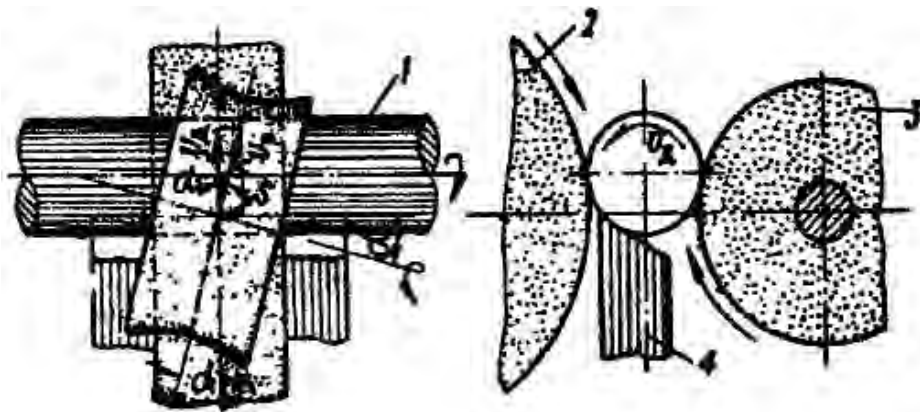


Рисунок 1.8 – Схема бесцентрового шлифования

Ось ведущего круга наклонена к оси рабочего круга под углом до  $6^\circ$ . Из-за этого ведущий круг вращает деталь и придает ей поступательное движение - продольную подачу. Окружная скорость рабочего круга скорость резания:  $V_k = 25-30 \text{ м/с}$ , окружная скорость ведущего круга  $V_b = 10-20 \text{ м/мин}$ .

Сила сцепления детали с ведущим кругом больше, чем с рабочим кругом так как:

- с увеличением скорости коэффициент трения скольжения уменьшается,
- ведущий круг делается на вулканитовой (каучуковой) связке, а рабочий - на

керамической.

Бесцентровым шлифованием можно обрабатывать:

- 1) гладкие валы без уступа на проход;
- 2) валы с буртиком, при этом деталь доводится до упора и выталкивается обратно;
- 3) конические штифты, при этом ведущий круг отводится рычагом, в зазор между кругами устанавливается штифт и ведущий круг доводится до упора. Конусность создают заправкой ведущего круга под углом, оси шлифовальных кругов устанавливают параллельно. Штифт шлифуют по всей длине и по окончании обработки он извлекается выталкивателем.

При бесцентровом шлифовании достигают 6-ого качества при  $Ra = 0,4$  мкм. Припуск 0,1-0,3 мм на диаметр. Шлифование производят за два-три прохода.

**Преимущества** бесцентрового шлифования:

- исключение процесса центрования валов,
- обработка неустойчивых длинных валов без люнетов;
- высокая производительность.

**Недостаток:** длительность и сложность настройки станка. Поэтому бесцентровое шлифование применяется только в серийном производстве.

### 1.2.6. Обработка шпоночных пазов валов

При обработке шпоночных пазов необходимо выдержать требования по точности ширины паза (по IT9), глубины паза (с рядом отклонений: +0,1; +0,2; +0,3), длины (по IT11...IT12). Требуется также обеспечить симметричность расположения паза относительно оси шейки.

Поэтому установка валов при обработке пазов производится на призме или в центрах (рисунок 1.9). Для коротких заготовок достаточно одной призмы. При большой длине заготовку 2 устанавливают на двух призмах 3. Правильность расположения призмы на столе станка обеспечивается шипом в основании призмы, входящим в паз стола. Валы закрепляют прихватами 1.

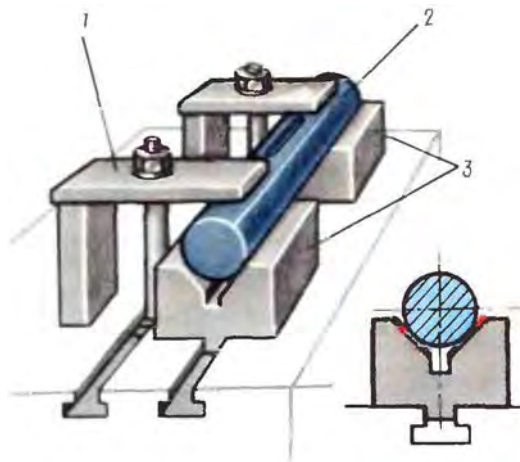


Рисунок 1.9 – Установка вала при фрезеровании шпоночного паза

Фрезерование шпоночного паза производят после обтачивания шейки, до ее шлифования. Шпоночные пазы изготавливаются на горизонтально-фрезерных или вертикально-фрезерных станках общего назначения или специальных.

Сквозные и закрытые с одной стороны шпоночные пазы изготавливаются дисковыми фрезами (рисунок 1.10) за один - два рабочих хода. Этот способ наиболее производителен и обеспечивает достаточную точность ширины паза.



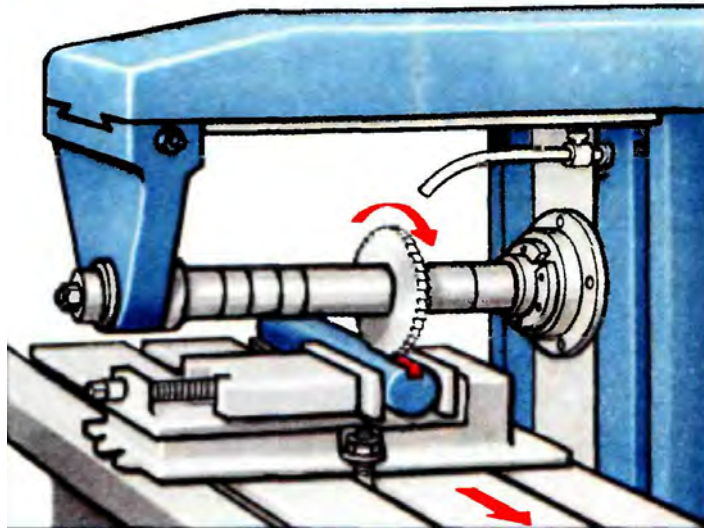


Рисунок 1.10 – Фрезерование сквозного шпоночного паза дисковой фрезой

Закрытые пазы с закруглениями на концах изготавливаются концевыми фрезами (рисунок 1.11). Сначала фреза при вертикальной подаче проходит на полную глубину паза, а потом включается продольная подача, с которой шпоночный паз фрезеруется на полную длину. Так как фреза работает в основном своей периферической частью, диаметр которой после заточки уменьшается, то в зависимости от числа переточек фреза дает неточный размер паза по ширине.

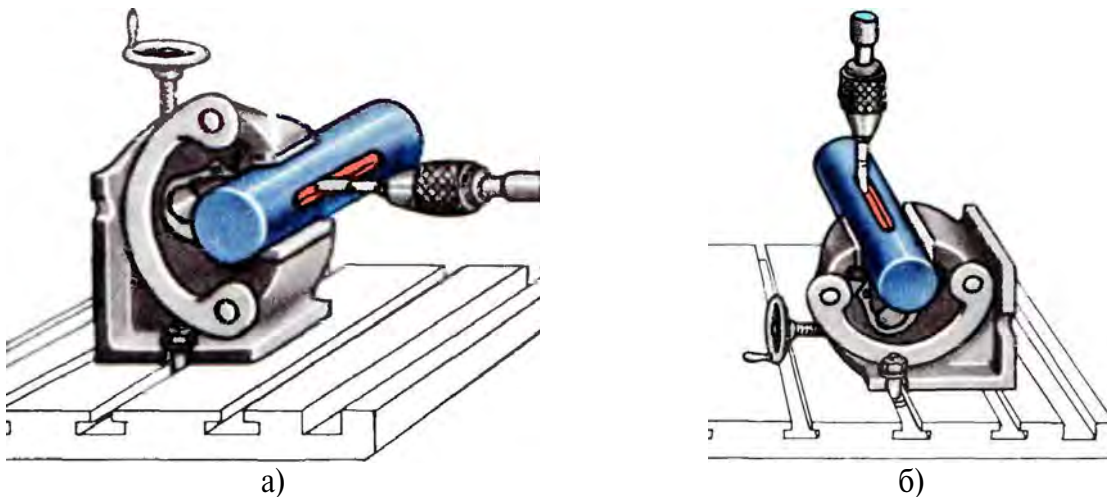


Рисунок 1.11 – Фрезерование закрытых шпоночных пазов концевыми фрезами:  
а – на горизонтально-фрезерном станке; б – на вертикально-фрезерном станке

Для получения точных по ширине пазов обработку ведут на специальных шпоночно-фрезерных станках с маятниковой подачей, работающих двузубыми шпоночными фрезами. При этом фреза врезается на 0,2-0,4 мм и фрезерует паз по всей длине, затем опять врезается на ту же глубину, и фрезерует паз на всю длину, но в другом направлении (рисунок 1.12). Название такого метода - «маятниковая подача». По окончании фрезерования шпиндель автоматически возвращается в исходное положение и выключается продольная подача фрезерной бабки. Метод используется в серийном и массовом производстве, так как дает точный паз, обеспечивающий взаимозаменяемость в шпоночном соединении. Недостаток способа - большая затрата времени.

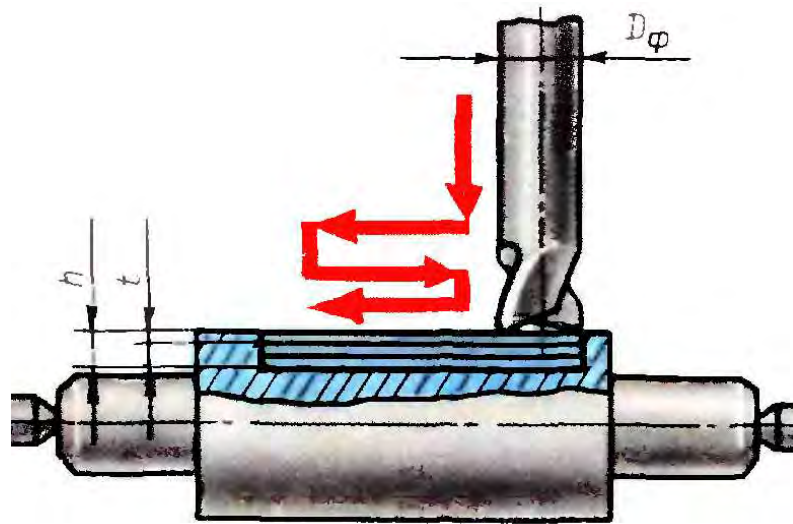


Рисунок 1.12 – Схема фрезерования шпоночных пазов способом «маятниковая подача»

Сквозные шпоночные пазы валов можно обрабатывать на строгальных станках. Пазы на длинных валах строгают на продольно-строгальном станке. Пазы на коротких валах строгают на поперечно-строгальном станке - преимущественно в единичном и мелкосерийном производствах.

Шпоночные пазы под сегментные шпонки фрезеруют с помощью дисковых фрез.

### 1.2.7. Обработка шлицевых поверхностей валов

Различают шлицевые соединения прямоугольного (наиболее часто), эвольвентного и треугольного профиля.

Сопряженные детали центрируются тремя способами (рисунок 1.13):

- 1) центрированием втулки (или зубчатого колеса) по наружному диаметру шлицевых выступов вала по  $D$  (наиболее технологично);
- 2) центрированием втулки (или зубчатого колеса) по внутреннему диаметру шлицев вала по  $d$ ;
- 3) центрированием втулки (или зубчатого колеса) по боковым сторонам  $B$  шлицев.

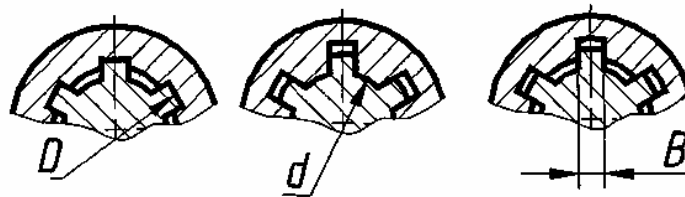


Рисунок 1.13 – Виды центрирования шлицевых соединений

Технологический процесс изготовления шлицев валов зависит от того, какой принят способ центрирования вала и втулки, а также термообрабатываются или нет поверхности шлицев.

Маршруты обработки шлицев на валах не подвергаемых и подвергаемых термообработке:

- 1) черновая токарная обработка, чистовая токарная обработка и шлифование цилиндрических поверхностей под нарезание шлицев, нарезание шлицев, снятие заусенцев и промывка;
- 2) черновая токарная обработка, чистовая токарная обработка, нарезание шлицев с

припуском под шлифование, фрезерование канавок для выхода круга при шлифовании центрирующей поверхности внутреннего диаметра (если на первой операции применяется фреза без усиков), термическая обработка, шлифование поверхностей шлицев, снятие заусенцев и промывка.

Шлицы на валах изготавливаются фрезерованием, строганием (шлицестроганием), протягиванием (шлицепротягиванием), накатыванием (шлиценакатыванием), шлифованием.

**Фрезерование** шлицев на валах диаметром до 100 мм производят за один рабочий ход, больших диаметров - за два рабочих хода. Черновое фрезерование шлицев производится на горизонтально-фрезерных станках, имеющих делительные механизмы (рисунок 1.14а, б, в).

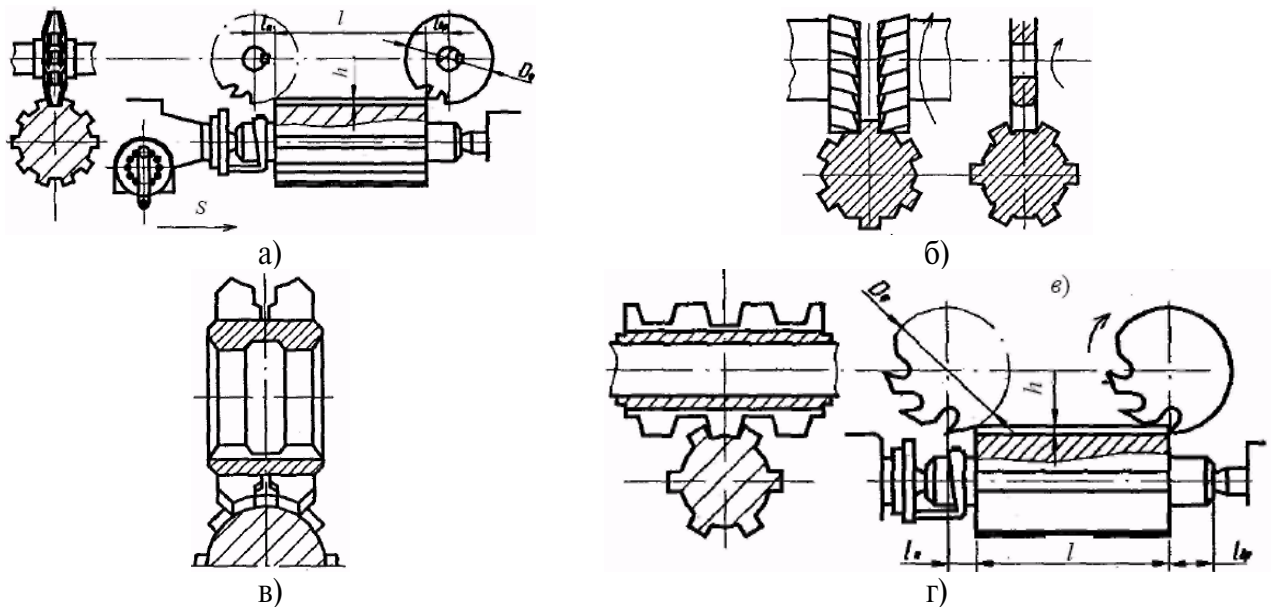


Рисунок 1.14 – Способы фрезерования шлицев

Более производительным способом является одновременное фрезерование двух шлицевых канавок двумя дисковыми фрезами специального профиля (рисунок 1.14в).

Чистовое фрезерование шлицев дисковыми фрезами производится только при отсутствии специального станка или инструмента, так как оно не дает достаточной точности по шагу и ширине шлицев.

Точное фрезерование шлицев производится методом обкатки при помощи шлицевой червячной фрезы (рисунок 1.14г). Фреза, помимо вращательного движения, имеет продольное перемещение вдоль оси нарезаемого вала. Способ является самым точным и производительным.

Окончательная обработка шлицев по методу обкатки производится чистовым фрезерованием червячными шлицевыми фрезами высокого класса точности (АА и А).

При центрировании по внутреннему диаметру шлицев вала как червячная, так и дисковая фреза должна иметь "усики", вырезающие канавки у основания шлица, чтобы не было заедания во внутренних углах. Канавки необходимы также при шлифовании по боковым сторонам и внутреннему диаметру.

**Шлицестрогание** реализуется на специальных станках-полуавтоматах. Этим методом обрабатываются сквозные шлицы или шлицы, у которых предусмотрен выход для резцов.

Шлицестрогание обеспечивает  $Ra = 3,2-0,8$  мкм. Шлицепротягивание обеспечивает  $Ra = 1,6-0,8$  мкм.

**Шлифование** шлицев:

1) при центрировании по наружному диаметру шлифуют только наружную цилиндрическую поверхность вала на обычных круглошлифовальных станках;

2) при центрировании по внутреннему диаметру необходимо шлифовать поверхности впадины (т.е. по внутреннему диаметру) и боковые стороны шлицев. Наиболее производителен

способ шлифования фасонным кругом (рисунок 1.15а), но при этом он изнашивается неравномерно из-за разной толщины снимаемого слоя у боковых сторон и впадины вала, поэтому требуется частая правка круга.

Также шлифуют шлицы в две отдельные операции (рисунок 1.15б); в первой шлифуют только впадины (по внутреннему диаметру), а во второй - боковые стороны шлицев. Для уменьшения износа шлифовального круга после каждого хода стола вал поворачивается, и шлифовальный круг обрабатывает впадины постепенно, одну за другой.

Для ускорения процесса применяются станки, на которых шлицы шлифуются одновременно тремя кругами: один шлифует впадину, а два других - боковые поверхности шлицев (рисунок 1.15в).

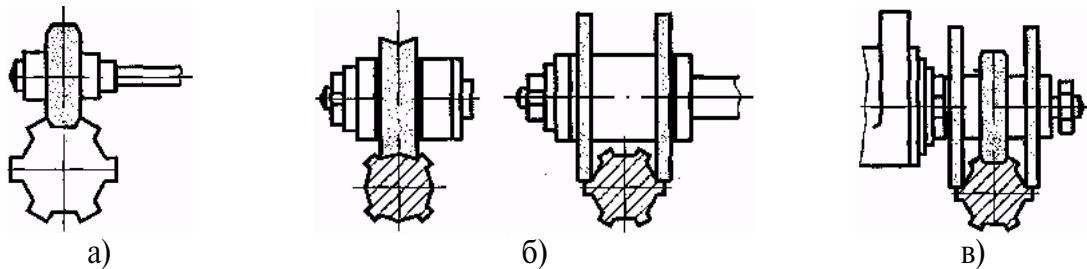


Рисунок 1.15 – Схема шлифования шлицев на валах:  
а – фасонным кругом; б – в две операции одним и двумя кругами; в – тремя кругами

### 1.2.8. Отделочные операции

**Притирка.** Это процесс доводки деталей, работающих в паре, для обеспечения наилучшего контакта рабочих поверхностей. Притирку осуществляют абразивным микропорошком, смешанным с маслом или специальными пастами, которые предварительно наносят на притир. Притиры обычно изготавливают из чугуна, бронзы или меди. Притирка не требует применения сложных, дорогих станков, ее можно выполнять вручную. Притиркой достигают 6-5-го качества.

**Суперфиниширование.** Процесс применяют для сверхтонкой обработки наружных поверхностей заготовок колеблющимися брусками из абразивных микропорошков. Бруски (рисунок 1.16) совершают по поверхности детали 4-20 продольных колебаний в секунду с амплитудой 3-5 мм, деталь вращается со скоростью  $V = 0,25-0,5$  м/с. Припуск на суперфиниширование не оставляется, так как снимаемый слой металла мал. Суперфиниширование используют для улучшения внешнего вида и качества поверхности ( $Rz = 0,04$  мкм). При этом точность размеров и правильность геометрической формы не обеспечиваются.

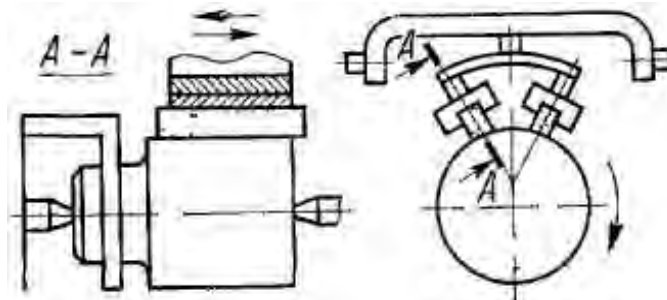


Рисунок 1.16 – Схема суперфиниширования

**Полирование.** Применяют для получения зеркального блеска поверхности. Полирование производят на полировальных станках быстровращающимися мягкими кругами из фетра или сукна. В процессе работы круг периодически смазывается специальной пастой. Кроме мягких

кругов применяют абразивную ленту. Полированием не исправляют погрешности геометрической формы, а также дефекты, полученные или оставшиеся от предыдущих операций (вмятины, раковины и др.). Скорость полировального круга или абразивной ленты до 40 м/с. Параметр  $Rz = 0,04$  мкм.

**Накатывание.** Цилиндрические рукоятки, головки микрометрических винтов, круглые гайки для удобства пользования делают не гладкими, а рифлеными. Рифленую поверхность получают прямым и перекрестным накатыванием специальными роликами, устанавливаемыми в резцедержателе суппорта токарного станка. Ролики изготовляют из инструментальной закаленной стали с насеченными на них зубчиками различных размеров и направлений, что позволяет получать накатку различных узоров. При накатывании державку с роликами прижимают к вращающейся детали. Из-за трения ролики начинают вращаться и, вдавливаясь в материал детали, образуют на ее поверхности накатку. Для достаточной глубины накатки накатывание ведут в два-четыре хода.

### 1.2.9. Типовые маршруты изготовления валов

#### *005 Заготовительная.*

Для заготовок из проката: рубка прутка на прессе или обрезка прутка на фрезерно-отрезном или другом станке. Для заготовок, получаемых методом пластического деформирования - штамповать или ковать заготовку.

#### *010 Правильная (применяется для проката).*

Правка заготовки на прессе. В массовом производстве может производиться до отрезки заготовки. В этом случае правится весь пруток на правильно-калибровочном станке.

#### *015 Подготовка технологических баз.*

Обработка торцов и сверление центровых отверстий. В зависимости от типа производства операцию осуществляют:

в единичном производстве подрезку торцов и центрование на универсальных токарных станках последовательно за два установа;

в серийном производстве подрезку торцов отдельно от центрования на продольно-фрезерных или горизонтально-фрезерных станках, а центрование - на одностороннем или двустороннем центральном станке. Могут применяться фрезерно-центральные полуавтоматы последовательного действия с установкой заготовки по наружному диаметру в призмы и базированием в осевом направлении по упору;

в массовом производстве на фрезерно-центральных станках барабанного типа, которые одновременно фрезеруют и центруют две заготовки без съема их со станка. Форму и размеры центровых отверстий назначают в соответствии с их технологическими функциями по ГОСТ 14034-74. Для нежестких валов (отношение длины к диаметру более 12) - обработка шеек под люнеты.

#### *020 Токарная (черновая).*

Выполняется за два установа на одной операции или каждый установ выносится как отдельная операция. Производится точение наружных поверхностей (с припуском под чистовое точение и шлифование) и канавок. Это обеспечивает получение точности IT12, шероховатости  $Ra = 6,3$ . Операцию выполняют:

в единичном производстве на токарно-винторезных станках;

в мелкосерийном - на универсальных токарных станках с гидросуппортами и станках с ЧПУ;

в серийном - на копировальных токарных станках, горизонтальных многорезцовых, вертикальных одношпиндельных полуавтоматах и станках с ЧПУ;

в крупносерийном и массовом - на многшпиндельных многорезцовых полуавтоматах; мелкие валы могут обрабатываться на токарных автоматах.

#### *025 Токарная (чистовая).*

Аналогичная приведенной выше. Производится чистовое точение шеек (с припуском под шлифование). Обеспечивается точность IT11...10, шероховатость Ra = 3,2 мкм.

*030 Фрезерная.*

Фрезерование шпоночных канавок, спиц, зубьев, всевозможных лысок.

*035 Сверлильная.*

Сверление всевозможных отверстий.

*040 Резьбонарезная.*

На закаливаемых шейках резьбу изготавливают до термообработки. Если вал не закаливают, то резьбу нарезают после окончательного шлифования шеек (для предохранения резьбы от повреждений). Мелкие резьбы у термообрабатываемых валов получают сразу на резьбошлифовальных станках. Внутренние резьбы нарезают машинными метчиками на сверлильных, револьверных и резьбонарезных станках в зависимости от типа производства. Наружные резьбы нарезают:

в единичном и мелкосерийном производствах на токарно-винторезных станках плашками, резьбовыми резцами или гребенками;

в мелкосерийном и серийном производствах резьбы не выше 7-й степени точности нарезают плашками, а резьбы 6-й степени точности - резьбонарезными головками на револьверных и болторезных станках;

в крупносерийном и массовом производствах - гребенчатой фрезой на резьбофрезерных станках или накатыванием.

*045 Термическая.*

Закалка объемная или местная согласно чертежу детали.

*050 Шлифовальная.*

Шейки вала шлифуют на круглошлифовальных или бесцентрошлифовальных станках.

Шлицы шлифуются в зависимости от центрирования:

по наружной поверхности - наружное шлифование на круглошлифовальных станках и шлифование боковых поверхностей на шлицешлифовальном полуавтомате одновременно двумя кругами и делением;

по поверхности внутреннего диаметра - шлифование боковых поверхностей шлицев и шлифование внутренних поверхностей по диаметру, либо профильным кругом одновременно, либо в две операции.

### **1.3. Обработка деталей типа втулок**

#### **1.3.1. Классификация и заготовки**

К втулкам относят детали, образованные наружными и внутренними поверхностями вращения, имеющими общую прямолинейную ось. Отличительной технологической задачей является обеспечение концентричности наружных поверхностей с отверстием и перпендикулярности торцов к оси отверстия.

Для втулок с диаметром отверстия до 20 мм заготовками служат прутки, а также литые стержни. При диаметре отверстия больше 20 мм - цельнотянутые трубы или полые заготовки, отлитые в песчаные или металлические формы.

#### **1.3.2. Последовательность операций при обработке точных втулок**

Для концентричности наружных поверхностей относительно отверстия и перпендикулярности торцовых поверхностей к оси отверстия необходимо обрабатывать:

наружные поверхности, поверхности отверстий и торцов за один установ;

все поверхности за два установка или за две операции с базированием при окончательной обработке по наружной поверхности (обработка от вала);

все поверхности за два установка или за две операции с базированием при окончательной обработке наружной поверхности по отверстию (обработка от отверстия).

При обработке за один установка рекомендуется следующий маршрут:

1) подрезка торца у прутка, подача прутка до упора, зацентровка торца под сверление, сверление отверстия и обтачивание наружной поверхности, растачивание или зенкерование отверстия и обтачивание наружной поверхности со снятием фасок на свободном торце, предварительное развертывание, окончательное развертывание, отрезка.

Эта первая операция выполняется на токарно-револьверном станке, одношпиндельном или многшпиндельном токарном автомате;

2) снятие фасок с противоположного торца втулки на вертикально-сверлильном или токарном станке;

3) сверление смазочного отверстия;

4) нарезание смазочных канавок на специальном станке. При обработке втулки из трубы вместо сверления производят зенкерование или растачивание отверстия, далее маршрут сохраняется.

При обработке втулки с базированием по внутренней поверхности рекомендуется следующий маршрут обработки:

1) зенкерование отверстия втулки и снятие фаски в отверстии на вертикально-сверлильном станке (технологическая база - наружная поверхность);

2) протягивание отверстия на горизонтально-протяжном станке со сферической самоустанавливающейся шайбой, применяемую, так как торец не обработан;

3) предварительное обтачивание наружной поверхности, подрезка торцов и снятие наружных (а часто и внутренних фасок) на токарно-многолезцовом полуавтомате. Базирование по внутренней поверхности на разжимную оправку;

4) чистовое обтачивание наружной поверхности, чистовая подрезка торца.

При выборе метода базирования следует отдавать предпочтение базированию по отверстию, которое имеет ряд преимуществ:

– при обработке на жесткой или разжимной оправке погрешность установки значительно меньше, чем при обработке в патроне с креплением заготовки по наружной поверхности;

– оправка - более простое, точное и дешевое центрирующее устройство, чем патрон;

– при использовании оправки может быть достигнута высокая степень концентрации обработки.

### 1.3.3. Изготовление втулок на токарно-револьверных станках

На токарных и токарно-винторезных станках обрабатывают точные втулки в единичном производстве.

При проектировании операции на токарно-револьверных станках придерживаются следующего:

1. Отверстия диаметром до 10 мм сверлить с предварительной зацентровкой коротким сверлом большого диаметра, для получения вместе с центрованием фаски.

2. Сверление ступенчатого отверстия начинать сверлением отверстия большего диаметра, а затем - меньшего.

3. До нарезания резьбы изготовить фаски и канавки.

4. Для тонкостенных втулок обрабатывать сначала внутренние поверхности, а затем наружные.

5. Для отверстий диаметром более 35 мм предварительно сверлить отверстие меньшего

диаметра.

На рисунке 1.17а показан план обработки оправы на токарно-револьверном автомате. Ее изготавливают из прутка диаметром 20 мм и длиной 2000 мм с предварительно подрезанными торцами. На 1-м переходе (на рисунке не показан) пруток подают до упора, установленного в револьверной головке. На 2-м переходе проводят центровку и обработку фаски; центровочное сверло и фасочный резец закреплены в державке, расположенной в револьверной головке. На 3-м переходе сверлят отверстия диаметром 8 мм и обтачивают проходным резцом по наружному диаметру 18,6 мм; сверло и резец также закреплены в державке. На 4-м переходе комбинированным зенкером обрабатывают конус с углом  $20^\circ$  и цилиндрическую поверхность под резьбу М16. Обработка канавки для выхода инструмента при последующем нарезании резьбы совмещена с нарезкой рифлений на конической поверхности оправы. Обработку ведут комбинированной гребенкой, закрепленной в револьверной головке, с поперечной подачей (5-й переход). На 6-м переходе рассверливают отверстия до диаметра 9Н11 мм перовым сверлом, закрепленным в револьверной головке, и одновременно подрезают торцы с поперечного суппорта. На 7-м переходе нарезают резьбу М16х0,5-6Н специальным метчиком. На 8-м переходе с поперечного суппорта протачивают фасонную канавку. На 9-м переходе - отрезка детали. Обработанная деталь показана на рисунке 1.17б.

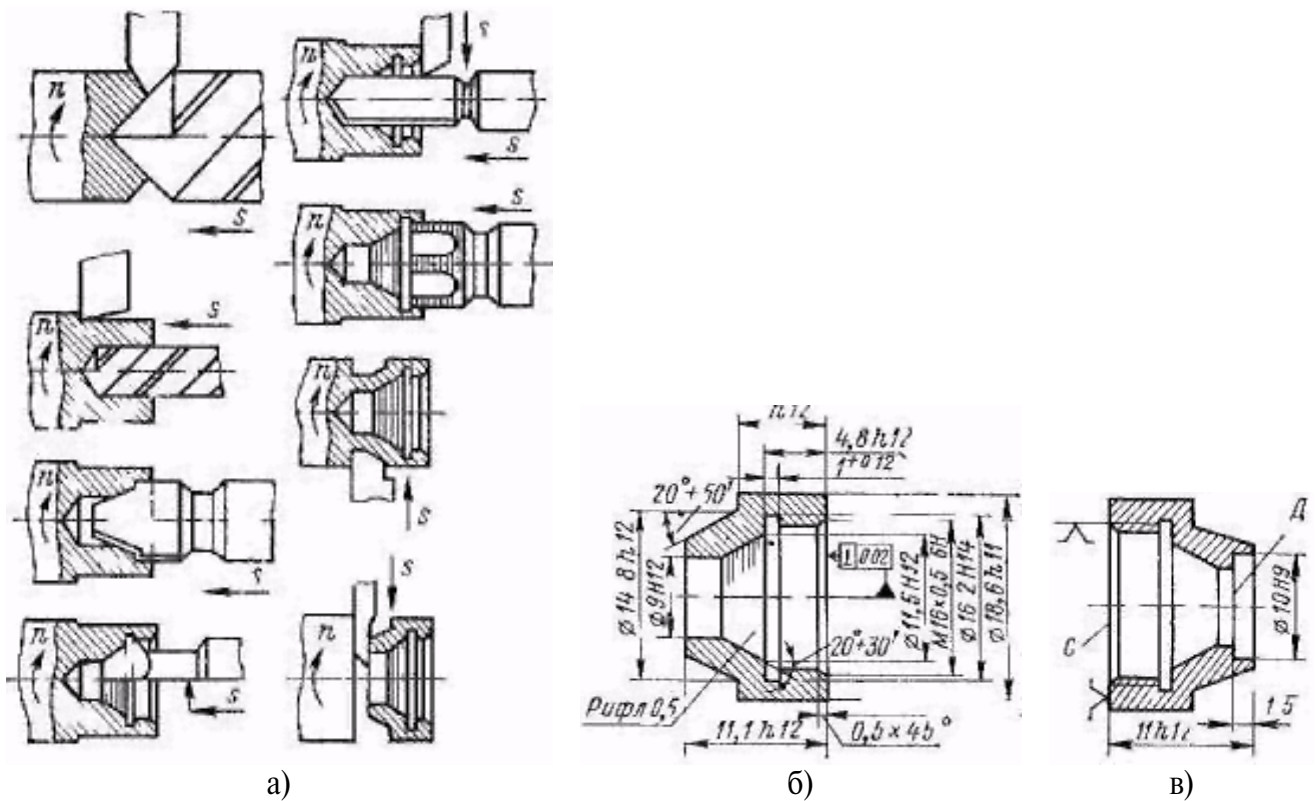


Рисунок 1.17 – Предварительная токарная обработка оправы

Затем деталь устанавливают и закрепляют на резьбовой оправке, с упором по торцу С. На второй операции (рисунок 1.17в) подрезают правый торец детали в размер 11h12, растачивают отверстие диаметром 10Н9 мм и обрабатывают торец Д. Требуемая перпендикулярность торца Д к оси резьбы обеспечивается за счет установки и закрепления детали на резьбовой оправке.

### 1.3.4. Обработка втулок с эксцентричными поверхностями

Такие детали обрабатывают за две операции. Существуют два способа обработки:

1. деталь (рисунок 1.18а) в первой операции обрабатывают на токарном автомате



или токарно-револьверном станке с припуском на последующую обработку отверстия (рисунок 1.186). Диаметр отверстия после первой операции

$$D_3 = D_1 - (2e + z), \quad (1.4)$$

где  $e$  - эксцентриситет осей;  
 $z$  - припуск на обработку.

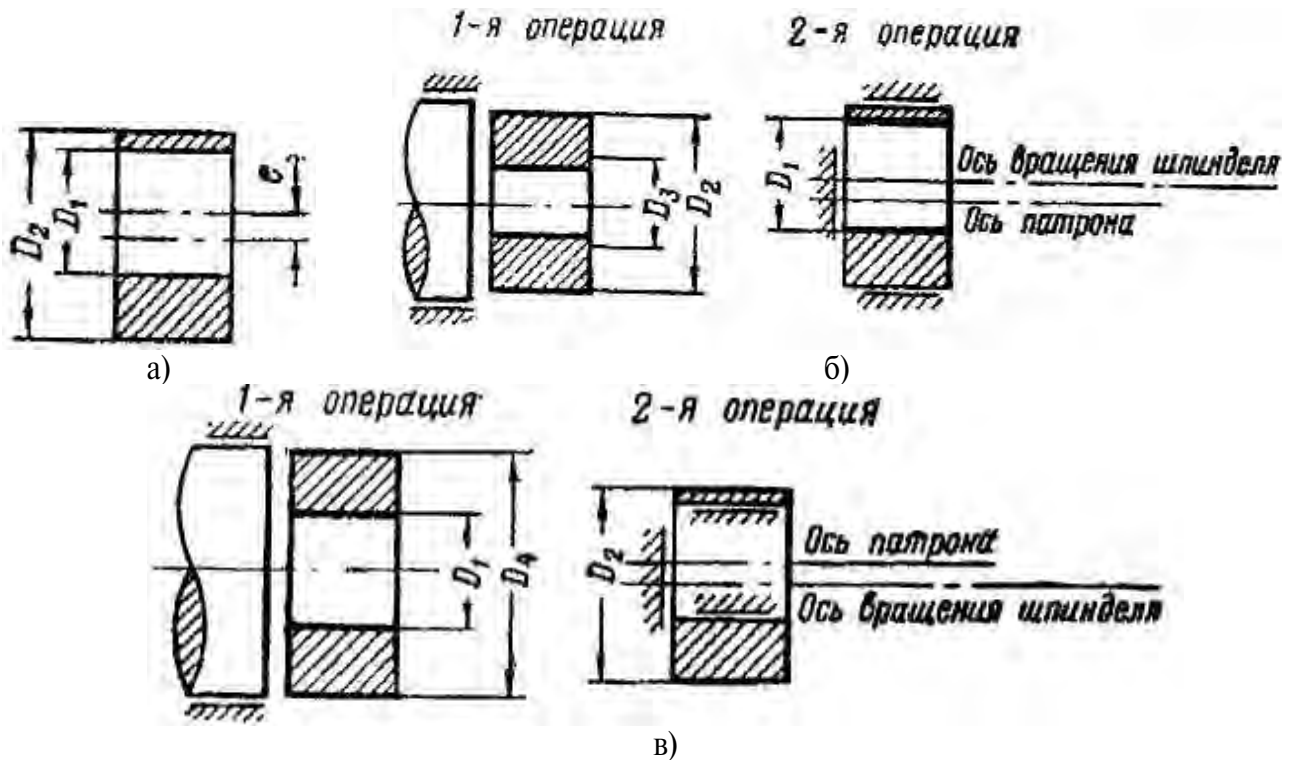


Рисунок 1.18 – Схемы обработки эксцентричных деталей

Во второй операции на токарно-револьверном или токарно-винторезном станке обрабатывают отверстие в эксцентричном зажимном патроне от базы наружной поверхности. Так как ось патрона смещена относительно оси шпинделя на величину эксцентриситета  $e$ , то обрабатываемое отверстие будет расположено эксцентрично к наружной поверхности.

2. на первой операции деталь (рисунок 1.18в) изготавливают с припуском на последующую обработку наружной поверхности. Диаметр наружной поверхности равен  $D_4 = D_2 + 2e + z$ . Во второй операции наружную поверхность детали обрабатывают в эксцентричном разжимном патроне от базы отверстия; ось патрона смещена относительно оси шпинделя на величину  $e$ .

Наружные поверхности шлифуют от базы отверстия на эксцентричных оправках, в которых ось центровых отверстий расположена эксцентрично относительно оси посадочной цилиндрической поверхности. Эксцентричные валы также обрабатывают за два установка: после обработки вала в центрах или на токарно-револьверном станке его эксцентричную часть обтачивают в эксцентричном зажимном патроне.

### 1.3.5. Внутреннее шлифование отверстий

Процесс ведут на внутришлифовальных или обычных круглошлифовальных станках с внутришлифовальным шпинделем. Шлифовальный круг (рисунок 1.19) входит в отверстие детали; диаметр круга  $d_k = (0,8...0,9)d_d$ . Деталь и круг вращаются в различных направлениях.

Деталь получает возвратно-поступательное движение подачи, а круг подачу в поперечном направлении на глубину резания. Режимы обработки при внутреннем шлифовании те же, что и при наружном.

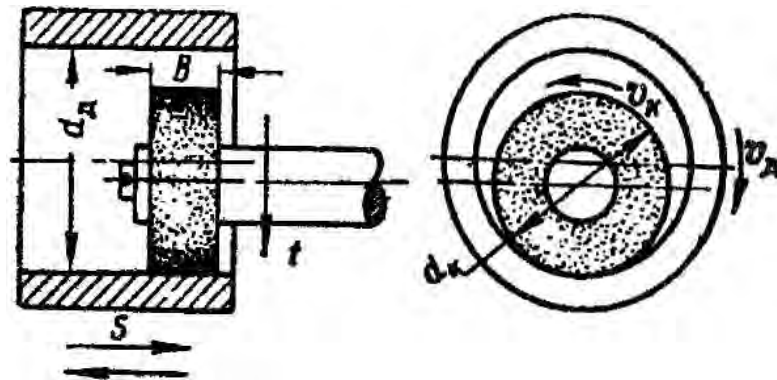


Рисунок 1.19 – Схема внутреннего шлифования

При малых  $d_d$  шлифовальный круг должен совершать большое число оборотов, что возможно при применении шпинделя специальной конструкции.

Точность внутреннего шлифования по 7-му качеству при  $Ra = 0,6-0,4$  мкм. Припуск на шлифование 0,2-0,3 мм на диаметр. **Преимущества** внутреннего шлифования - возможность исправления исходных погрешностей геометрической формы и положения оси отверстия, обработка за один установ отверстия и торца с обеспечением высокой точности их взаимного расположения, обработки глухих, фасонных, конических и некруглых отверстий. Наименьший диаметр отверстия, которое можно обработать внутренним шлифованием, составляет 6-7 мм.

### 1.3.6. Обработка шпоночных пазов и шлицевых поверхностей отверстий

Шпоночные пазы в отверстиях втулок обрабатываются в единичном и мелкосерийном производствах на долбежных станках, а в крупносерийном и массовом - на протяжных станках. На рисунке 1.20 показано протягивание шпоночного паза в заготовке шкива на горизонтально-протяжном станке. Заготовка 1 насаживается на направляющий палец 4, внутри которого имеется паз для направления протяжки 2. Когда канавка протягивается за 2-3 рабочих хода, то под протяжку помещают подкладку 3.

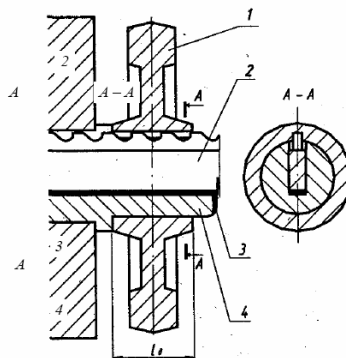


Рисунок 1.20 – Схема протягивание шпоночного паза в отверстии

При этом достигается 7-й качество точности при  $Ra = 0,4-0,2$  мкм. Припуск на протягивание 0,25-1 мм на диаметр. Протягивание может применяться и для обработки фасонных отверстий.

На рисунке 1.21 представлены некоторые виды отверстий, обрабатываемых протягиванием (слой металла, удаляемый протяжкой, заштрихован). Как и развертка, протяжка

следует по оси предварительно подготовленного отверстия, поэтому детали в процессе протягивания не крепятся жестко, а самоустанавливаются при помощи шаровых опор.

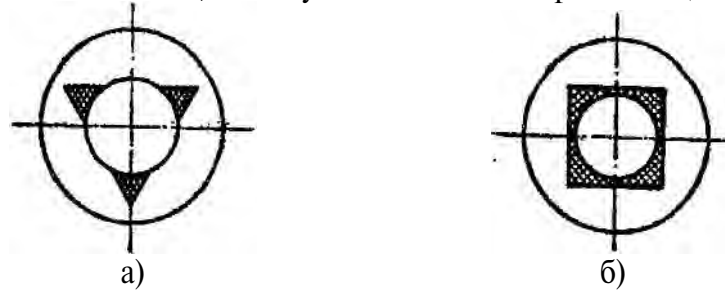


Рисунок 1.21 – Виды отверстий, обрабатываемых протягиванием

### 1.3.7. Хонингование и калибрование отверстий

**Хонингование.** Применяют для обработки поверхности заготовок специальным инструментом - хонем, снабженным мелкозернистыми брусками. Цель хонингования - получение высокой точности геометрической формы отверстия и высокого качества поверхности. Оно не исправляет положения оси отверстия. Хонингованием обрабатывают отверстия диаметром от 15 мм, при этом получают 6-5-й квалитет и  $Ra = 0,08-0,04$  мкм. Хонингование выполняют на специальных хонинговальных станках. Абразивные бруски устанавливают в хонинговальной головке. Количество брусков берут кратным трем (6, 9, 12 и т. д.); для малых отверстий применяют головки с одним бруском. Конструкция головки обеспечивает установку брусков на требуемый диаметр и разжим брусков. В процессе работы хонинговальной головке сообщают вращательное движение вокруг оси обрабатываемого отверстия и возвратно-поступательное - вдоль этой оси. Хонинговальные головки с принудительно разжимными брусками позволяют исправить конусность и овальность отверстия. Хонингование применяют при обработке высокоточных отверстий, имеющих длину больше диаметра в серийном и массовом производстве.

#### Калибрование отверстий шариками и дорнами.

Обработку отверстий без снятия стружки можно производить калиброванием шариками и проглаживающими прошивками (дорнами). Дорны (рисунок 1.22а) не имеют режущих зубьев, они уплотняют поверхностный слой, обеспечивая получение более точного диаметра отверстия. Калибрование отверстий шариками (рисунок 1.22б) заключается в продавливании стального закаленного шарика с помощью пресса через отверстие, предварительно точно обработанное. Диаметр шарика или дорна из-за явления упругого восстановления берут несколько больше диаметра отверстия, полученного после продавливания. Калибрование осуществляют на фрикционных, гидравлических, приводных и ручных механических прессах.

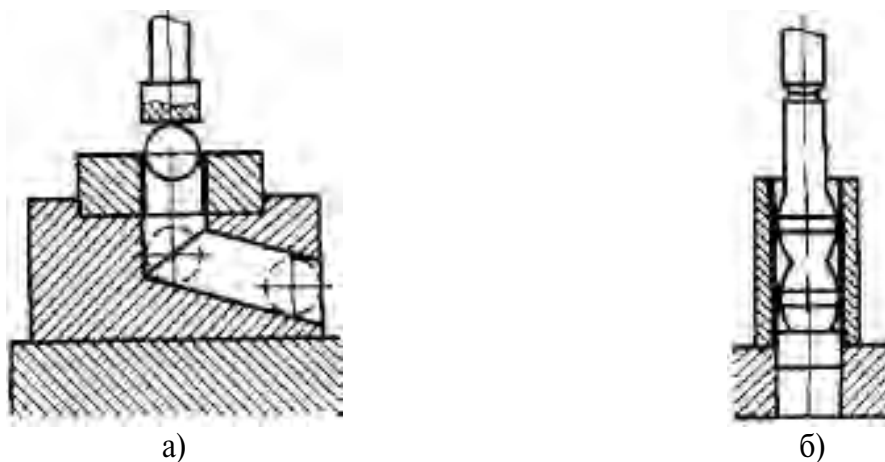


Рисунок 1.22 – Схемы калибрования отверстий:  
а – дорнами; б – шариками

### 1.3.8. Типовой маршрут изготовления втулок

#### 1. Обработка за один установ:

##### *005 Токарная.*

Подрезка торца у прутка, подача прутка до упора, зацентровка торца под сверление, сверление отверстия, точение черновое наружной поверхности со снятием фасок на свободном торце, точение канавок, предварительное развертывание, окончательное развертывание, отрезка. При обработке втулки из трубы вместо сверления производят зенкерование или растачивание отверстия. Выполняется на токарно-револьверном, одношпиндельном или многошпиндельном токарном автомате.

##### *010 Сверлильная.*

Снятие фасок с противоположного торца втулки на вертикально-сверлильном или токарном станке.

##### *015 Сверлильная.*

Сверление отверстий, нарезка резьбы на вертикально или радиально-сверлильном станке.

##### *020 Контрольная.*

#### 2. Обработка за два установка:

##### *005 Заготовительная.*

Резка заготовки из проката или трубы или штамповка.

##### *010 Токарная.*

Выполняется за одну операцию и два установка (единичное производство) или за две операции (серийное и массовое).

Первый установ (базирование по наружной поверхности и торцу в патроне) - подрезка свободного торца, сверление и зенкерование или растачивание отверстия (с припуском под шлифование), растачивание канавок и фасок.

Второй установ (базирование по отверстию и торцу на оправке) - подрезка второго торца, точение наружных поверхностей (с припуском под шлифование), точение канавок и фасок. Операция выполняется:

- в единичном производстве - на токарно-винторезных станках;
- в серийном - на токарно-револьверных станках и станках с ЧПУ;
- в массовом - на токарно-револьверных, одношпиндельных или многошпиндельных токарных полуавтоматах.

##### *015 Сверлильная.*

Сверление, зенкерование отверстий, нарезка резьбы. Производится на вертикально-сверлильных станках, сверлильных станках с ЧПУ, агрегатных станках.

##### *020 Термическая.*

Закалка согласно чертежу.

##### *025 Внутришлифовальная.*

Шлифование отверстия на внутришлифовальном станке. Деталь базируется по наружному диаметру и торцу в патроне.

##### *030 Круглошлифовальная.*

Шлифование наружных поверхностей торца на круглошлифовальном или торце-круглошлифовальном станках.

##### *035 Контрольная.*

## 1.4. Изготовление корпусных деталей

### 1.4.1. Классификация и технологичность конструкции

Корпус - деталь, содержащая систему отверстий и плоскостей, координированных друг относительно друга. Различают две основные разновидности: призматические и фланцевые. Корпуса призматического типа характеризуются большими наружными поверхностями и расположением отверстий на нескольких осях. У корпусов фланцевого типа базовыми поверхностями служат торцовые поверхности основных отверстий и поверхности центрирующих выступов или выточек.

Для корпусных деталей характерно наличие базовых поверхностей, которые стыкуются с другими узлами прибора, а также основных и крепежных отверстий.

Точность диаметральных размеров основных отверстий под монтаж опор валов - 7-8 квалитет,  $R_a = 2,5-0,63$  мкм. Межосевые расстояния основных отверстий выдерживают с допусками, обеспечивающими необходимую точность работы зубчатых и червячных передач (обычно 8-ую степень точности).

### 1.4.2. Этапы обработки корпусов

Чугунные и стальные заготовки отливают в земляные и стержневые формы или используют литье в оболочковые формы и по выплавляемым моделям (сложные ответственные корпуса).

Заготовки из алюминиевых сплавов получают отливкой в кокиль и под давлением. Замена на сварку производится для снижения веса и экономии материала.

При обработке корпусов используют следующие методы базирования:

- обработка от плоскости, т.е. вначале окончательно обрабатывают установочную плоскость, затем принимают ее за установочную базу и относительно нее обрабатывают точные отверстия (более простое и удобное);

- обработка от отверстия, т.е. вначале окончательно обрабатывают отверстие и затем от него обрабатывают плоскость (более точное).

При работе первым методом труднее выдерживать два точных размера - диаметр отверстия и расстояние до плоскости.

Наиболее часто используются следующие схемы базирования:

1) При изготовлении корпусных деталей призматического типа используется базирование по плоской поверхности 1 и двум отверстиям 2, чаще всего обработанным по 7 квалитету (рисунок 1.23).

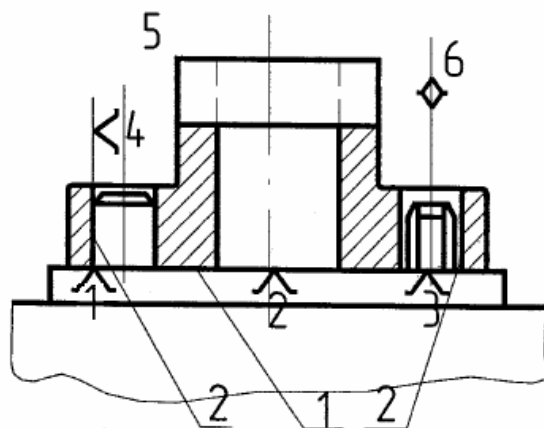


Рисунок 1.23 – Базирование корпусной заготовки на плоскость и два отверстия

Детали фланцевого типа базируются на торец фланца 1, отверстие 2 большего диаметра и отверстие 3 малого диаметра во фланце (рисунок 1.24). Распределение опорных точек зависит от соотношения длины базирующей части отверстия к его диаметру.

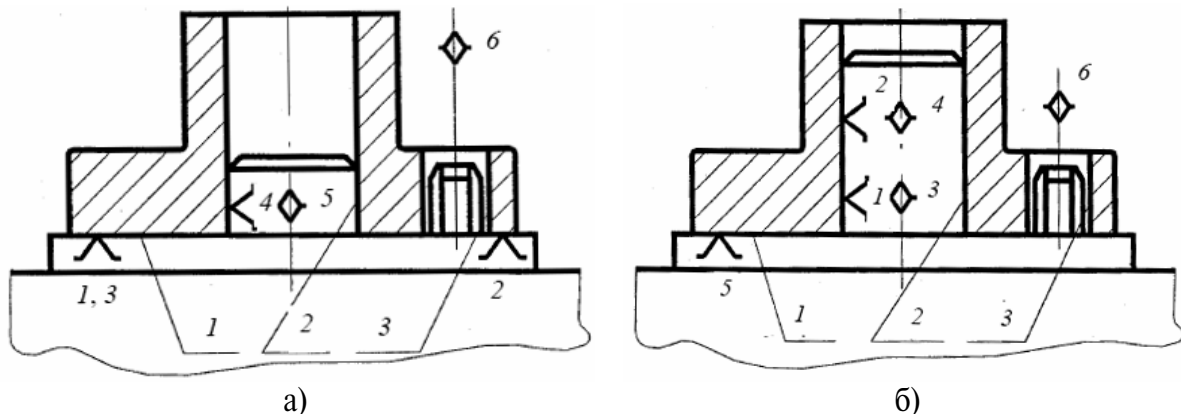


Рисунок 1.24 – Базирование корпусной заготовки на плоскость, длинное отверстие и отверстие малого диаметра во фланце

В мелкосерийном и единичном производствах обработку заготовок корпусов выполняют на универсальных станках без приспособлений. Разметкой определяют положение осей основных отверстий, плоских и других поверхностей.

Обработку плоских поверхностей производят строганием, фрезерованием, протягиванием и шлифованием.

**Строгание** используется в мелкосерийном и единичном производстве так как для работы на строгальных станках не требуется сложных приспособлений и инструментов, как для работы на фрезерных, протяжных и других станках.

Однако метод малопроизводителен: обработка выполняется однолезвийным инструментом (строгальными резцами) на умеренных режимах резания, а наличие вспомогательных ходов увеличивает время обработки.

При строгании применяют: поперечно-строгальные, а также одно- и двухстоечные продольнострогальные станки. Строгание на продольно-строгальных станках применяют в серийном производстве и при обработке крупных и тяжелых деталей практически во всех случаях.

Строгание производится с глубиной резания от 3 до 10 мм и подачей 0,8-1,2 мм на один двойной ход стола, обеспечивая 11-13 квалитет;  $Ra = 3,2-12,5$  мкм.

**Фрезерование** наиболее распространено для обработки плоских поверхностей.

Широко применяется фрезерование торцовыми фрезами, а при диаметрах фрез свыше 90 мм - фрезерными головками (торцовыми фрезами со вставными ножами).

Их преимущества перед цилиндрическими фрезами:

- такие фрезы имеют большой диаметр, что повышает производительность обработки;
- одновременное участие в обработке большого числа зубьев обеспечивает более производительную и плавную работу;
- отсутствие длинных оправок дает большую жесткость крепления инструмента и возможность работать с большими подачами (глубинами резания);
- одновременная обработка заготовок с разных сторон (например, при использовании барабанно-фрезерных станков).

Фрезерование в два перехода (черновой и чистовой) позволяет достичь: 9 квалитета точности размеров при  $Ra = 6,3-0,8$  мкм; отклонение от плоскостности 40-60 мкм.

Наиболее производительные способы фрезерования - обработка плоскостей по непрерывному циклу на карусельно-фрезерных, барабанно-фрезерных станках.

Одним из способов повышения производительности является использование скоростного и силового фрезерования.

Скоростное фрезерование характеризуется повышением скоростей резания при

обработке стали до 350 м/мин, чугуна - до 450 м/мин, цветных металлов - до 2000 м/мин при небольших подачах на зуб фрезы  $S_z = 0,05-0,12$  мм/зуб - при обработке сталей, 0,3-0,8 мм/зуб - при обработке чугуна и цветных сплавов. Силовое фрезерование характеризуется большими подачами на зуб фрезы ( $S_z > 1$  мм).

Такая обработка выполняется фрезами, оснащенными твердосплавными и керамическими пластинами.

**Протягивание плоскостей** реализуют на вертикально- и горизонтально-протяжных станках, и применяется в крупносерийном и массовом производстве.

В массовом производстве для наружного протягивания применяют высокопроизводительные многопозиционные протяжные станки, а также станки непрерывного действия.

Протягивание - самый высокопроизводительный метод обработки плоскостей, обеспечивающим точность размеров IT7...IT9, шероховатость  $Ra = 3,2-0,8$  мкм.

**Преимущества** протягивания по сравнению с фрезерованием: высокая производительность; высокая точность; высокая стойкость инструмента.

**Недостатки:** высокая стоимость и сложность инструмента.

При протягивании используют следующие режимы: подача на зуб  $S_z = 0,1-0,4$  мм/зуб; скорость резания  $t = 6-12$  м/мин с максимальными припусками до 4 мм и шириной протягивания до 350 мм.

**Шлифование плоских поверхностей** осуществляют на плоскошлифовальных станках с крестовым или круглым столом как обычного исполнения, так и с ЧПУ. Плоское шлифование - основной метод обработки плоскостей деталей машин (особенно закаленных) для достижения требуемого качества. Шлифование плоских поверхностей может быть выполнено периферией круга или торцом круга (рисунок 1.25).

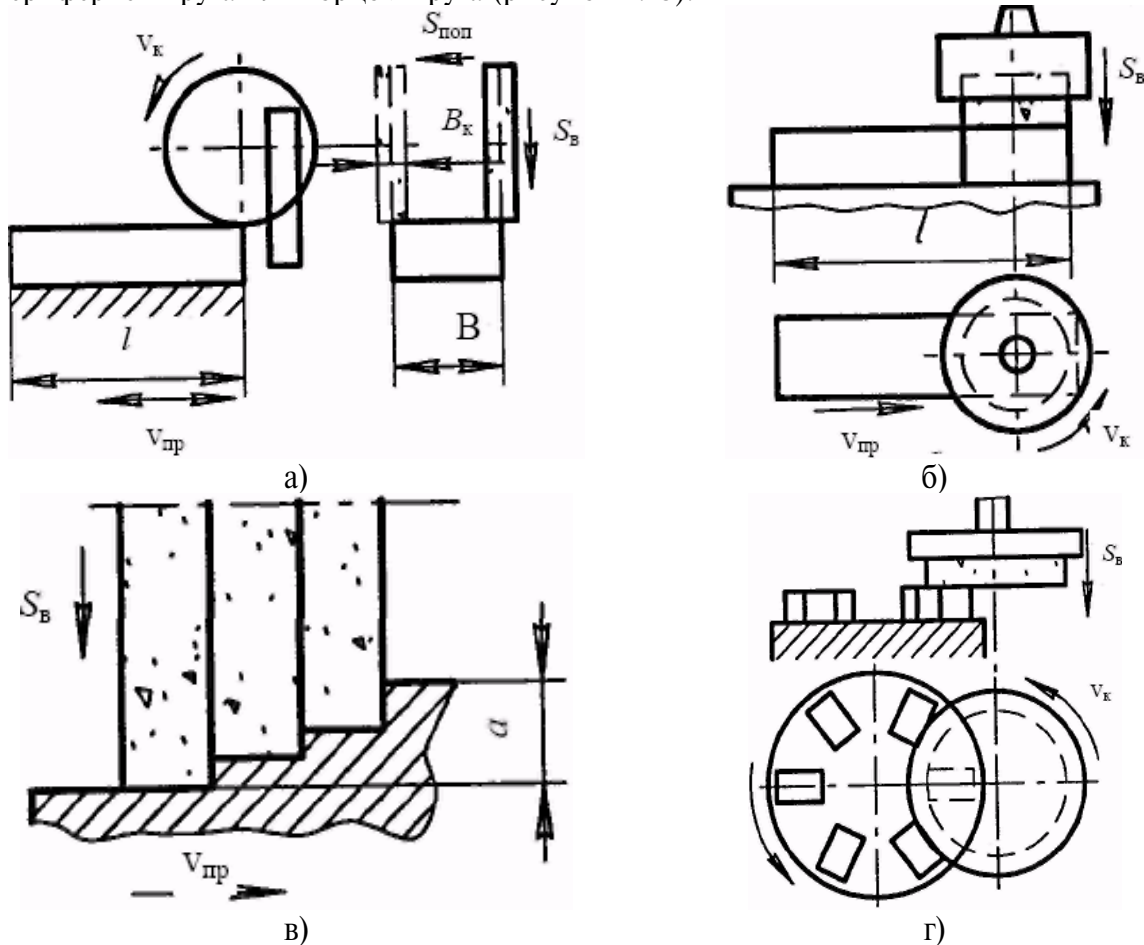


Рисунок 1.25 – Схемы шлифования плоскостей:

а – периферией круга; б – торцом круга;

в – профилирующим кругом; г – торцом круга на вращающемся столе

Шлифование периферией круга осуществляется тремя способами:

- 1) многократными рабочими ходами;
- 2) установленным на размер кругом;
- 3) ступенчатым кругом.

При первом способе (рисунок 1.25а) поперечное движение подачи круга производится после каждого продольного хода стола, а вертикальное - после рабочего хода по всей поверхности длины детали 1.

При втором способе (рисунок 1.25б) шлифующий круг устанавливается на глубину, равную припуску, и при малой скорости перемещения стола обрабатывают заготовку по всей длине. После каждого рабочего хода шлифовальный круг перемещается в поперечном направлении от 0,7-0,8 высоты круга. Для чистового рабочего хода оставляют припуск 0,01-0,02 мм и снимают его первым способом. Так обрабатывают на мощных шлифовальных станках.

При шлифовании третьим способом круг профилируют ступеньками. Припуск ( $Z_1$ ), распределенный между отдельными ступеньками, снимается за один рабочий ход (рисунок 1.25в).

На рисунке 1.25г показана схема шлифования установленным на размер кругом на станке с вращающимся столом.

Плоским шлифованием обеспечиваются:

- **черновое (предварительное) шлифование** (IT8...IT9, Ra = 1,6 мкм);
- **чистовое шлифование** (IT7...IT8, Ra = 0,4ч1,6 мкм);
- **тонкое шлифование** (IT7...IT8, Ra = 0,4ч1,6 мкм).

### 1.4.3. Обработка основных отверстий

На расточных станках обрабатывают заготовки коробчатой формы в единичном и серийном производствах. В крупносерийном и массовом производстве применяют многошпиндельные агрегатные станки.

Заготовки корпусов фланцевого типа обрабатывают на токарно карусельных станках, а отверстия в корпусах небольших и средних размеров в серийном производстве - на вертикально- или радиально-сверлильных станках путем последовательной установки нескольких инструментов (например, для сверления, зенкерования и развертывания) в быстросменных патронах.

Точность взаимного расположения отверстий обеспечивается двумя способами:

- 1) установка заготовки в специальном приспособлении (в крупносерийном и массовом производствах);
- 2) использование универсальных способов координации положения инструмента (в единичном и мелкосерийном производствах).

При обработке отверстий на горизонтально-расточных станках в единичном и мелкосерийном производствах применяют расточку по разметке (точность расстояний между осями отверстий 0,2-0,5 мм) и по «координатному» методу.

Его сущность заключается в том, что расстояния между осями отверстий и их расположение относительно базовых поверхностей устанавливается по двум координатам поперечным перемещением стола станка вдоль оси  $Ox$  (рисунок 1.26) и перемещением шпиндельной головки по вертикали вдоль оси  $Oy$ . Для измерения перемещения стола и шпинделя применяются индикаторные упоры и жесткие точные штихмассы. Для определения начала координат в шпинделе устанавливают мерную оправку. Затем стол и шпиндель перемещают таким образом, чтобы оправка близко подошла к двум брусам. Зазоры между оправкой и брусом определяют щупами, и тогда начало координат находят из уравнений



$$X_0 = d/2 + \Delta x; \quad (1.5)$$

$$Y_0 = d/2 + \Delta y, \quad (1.6)$$

где  $d$  - диаметр контрольной оправки;

$\Delta x$  и  $\Delta y$  - толщины шупов в направлении осей  $Ox$  и  $Oy$ .

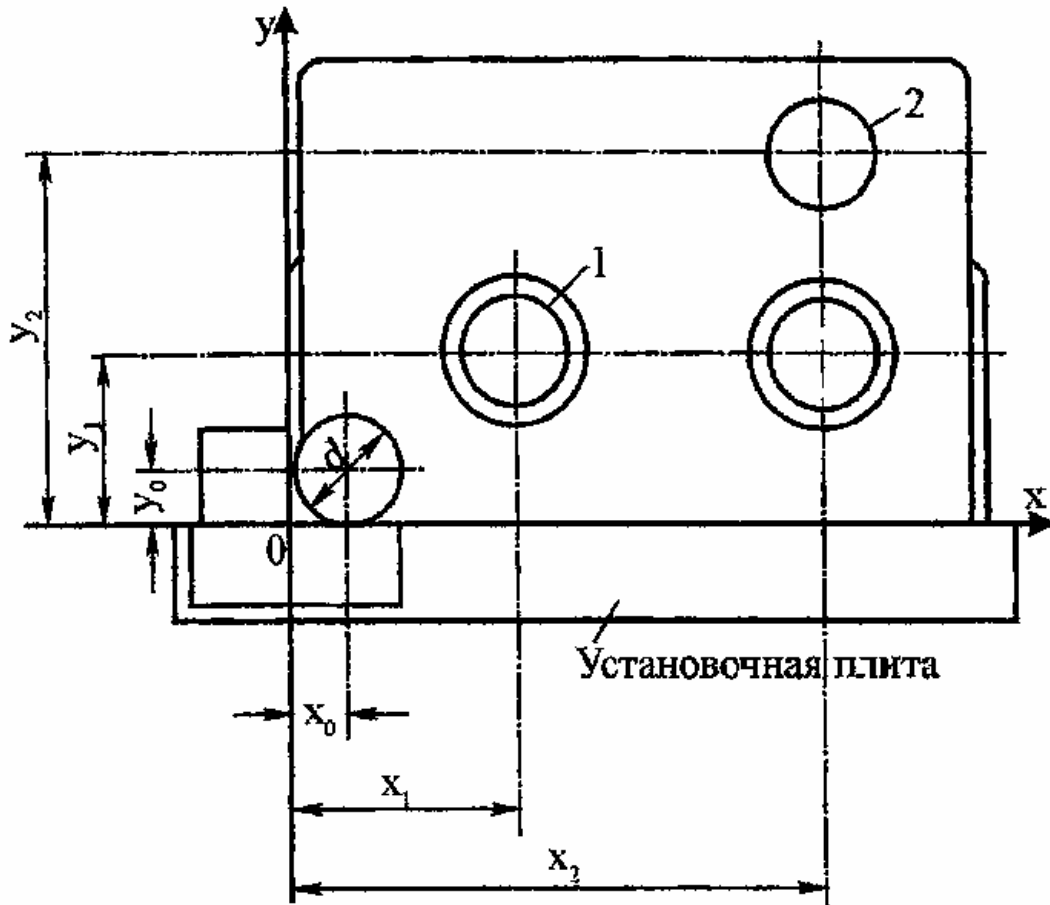


Рисунок 1.26 – Схема расточки отверстий по «координатному» методу

Определив начало координат, перемещают стол и шпиндельную головку с помощью мерных штихмассов и индикаторных упоров для сверления отверстия 1 на величины  $X_1 - X_0$  и  $Y_1 - Y_0$ , для обработки отверстия 2 - на величины  $X_2 - X_0$  и  $Y_2 - Y_0$  и т. д. Таким образом, без разметки и применения сложных приспособлений на обычном горизонтально-расточном станке можно выдержать межосевые расстояния с точностью 0,02-0,03 мм.

В единичном и мелкосерийном производствах при изготовлении корпусов высокой точности применяют координатно-расточные станки. В них инструмент устанавливают непосредственно в шпинделе или в концевой оправке. Координация шпинделя относительно оси отверстия обеспечивает погрешность межосевых расстояний не более 5 мкм, а погрешность размеров и геометрической формы отверстий - не более 2-3 мкм.

На агрегатных станках кроме растачивания можно производить сверление, зенкерование, развертывание цилиндрических и конических отверстий, подрезание торцов, нарезание резьбы, растачивание различных канавок. На таких станках можно производить черновую, получистовую и чистовую обработку нескольких отверстий или нескольких плоскостей с одной установки детали. На рисунке 1.27 показана схема одновременной обработки двух попарно соосных отверстий двумя соосно установленными силовыми головками.

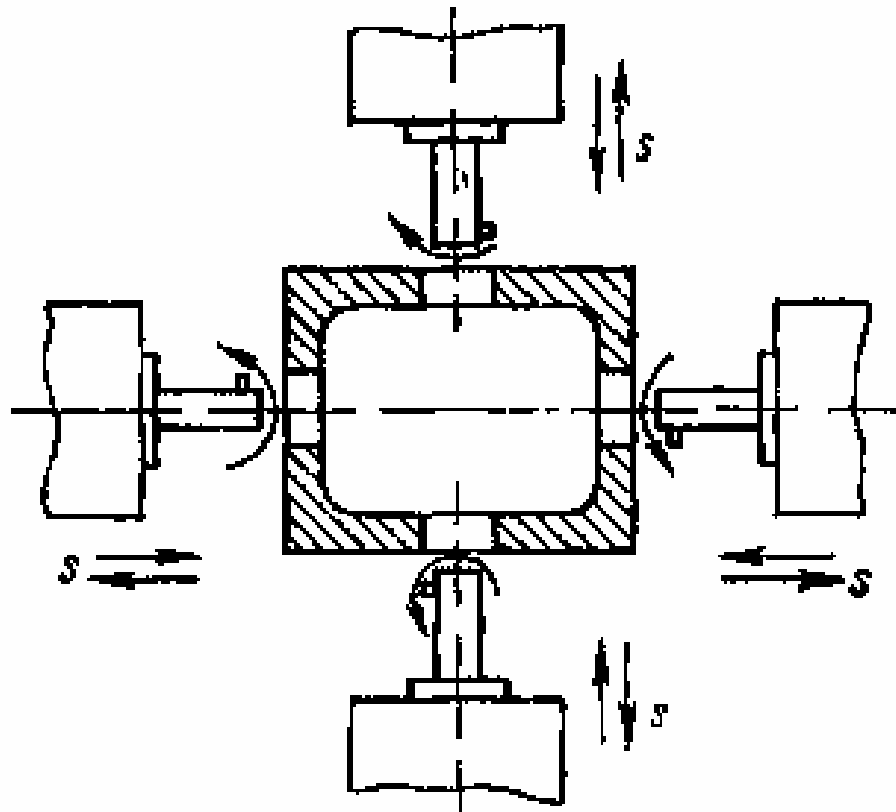


Рис. 1.27. Схема обработки корпусной детали на агрегатном станке

#### 1.4.4. Обработка крепежных и других отверстий

Основные методы: сверление, зенкование, цекование, развертывание. В единичном и серийном производствах заготовки массой до 30 кг обрабатывают на вертикально-сверлильных станках, а заготовки массой свыше 30 кг - на радиально-сверлильных. В крупносерийном и массовом - обработка выполняется на многошпиндельных агрегатных станках.

Обработка отверстий и нарезание резьбы под крепежные винты обычно завершает обработку корпусов и производится после всех токарных, фрезерных и шлифовальных работ. Обработка отверстий в деталях, подвергающихся упрочнению - завершающая операция перед термической обработкой. После сверления отверстий на поверхности деталей образуется грат. Его удаляют на сверлильном станке зенковкой или сверлом большего диаметра, чем просверленное отверстие. Крепежную резьбу под винты нарезают на резьбонарезном станке в отдельной операции; перед нарезанием резьбы в отверстиях необходимо зенковать фаску для облегчения входа метчика. Зенкование отверстий под головки винтов выделяют в отдельную операцию.

#### 1.4.5. Изготовление корпусов из пластмасс

Чаще всего применяются термореактивные пластмассы, т.к. такие корпуса, получаемые горячим прессованием или литьем, обладают наибольшей механической прочностью и температурной устойчивостью.

Обычно последующая механическая обработка корпусов сводится к снятию облоя и зачистке, сверлению отверстий, проточке узких канавок и др., т. е. к обработке тех элементов, которые нельзя получить непосредственно при прессовании.

Установочными базами при механической обработке служат поверхности, полученные непосредственно в пресс-форме.

#### **1.4.6. Типовой маршрут изготовления корпусов призматического типа с плоским основанием и основным отверстием с осью, параллельной основанию**

##### *005 Заготовительная.*

Заготовки корпусов из серого чугуна отливают в земляные, металлические (кокиль) или оболочковые формы, из стали - в земляные формы, кокиль или по выплавляемым моделям. Заготовки из алюминиевых сплавов отливают в кокиль или литьем под давлением. В единичном и мелкосерийном производствах применяют сварные корпуса из стали.

Заготовки корпусов перед механической обработкой проходят ряд подготовительных операций.

##### *010 Фрезерная (протяжная).*

Фрезеровать, или протянуть плоскость основания начерно и начисто или с припуском под плоское шлифование (при необходимости). Технологическая база - необработанная плоскость, параллельная обрабатываемой поверхности.

Оборудование:

- в единичном и мелкосерийном производствах - вертикально-фрезерный и строгальный станки;
- в серийном - продольно-фрезерный или продольно-строгальный станки;
- в крупносерийном и массовом - барабанно- и карусельно-фрезерные, плоскопротяжные, агрегатно-фрезерные станки.

##### *015 Сверлильная.*

Сверлить и зенковать (при необходимости) отверстия в плоскости основания. Развернуть два отверстия. Технологическая база - обработанная плоскость основания. Оборудование - радиально-сверлильный станок или сверлильный с ЧПУ, в массовом и крупносерийном производствах - многошпиндельный сверлильный станок или агрегатный станок.

##### *020 Фрезерная.*

Обработка плоскостей, параллельных базовой (при их наличии). Технологическая база - плоскость основания. Оборудование - см. операцию 010.

##### *025 Фрезерная.*

Обработка плоскостей, перпендикулярных базовой (торцы основных отверстий). Технологическая база - плоскость основания и два точных отверстия. Оборудование - горизонтально-фрезерный или горизонтально-расточной станок.

##### *030 Расточная.*

Растачивание основных отверстий (черновое и чистовое, или с припуском под точное растачивание). Технологическая база - та же (см. операцию 025). Оборудование:

- единичное производство - универсальный горизонтально-расточной станок;
- мелкосерийное и среднесерийное - станки с ЧПУ расточно-фрезерной группы и многооперационные станки;
- крупносерийное и массовое - агрегатные многошпиндельные станки.

Точность межосевых расстояний, а также точность положения отверстий достигается с помощью:

- разметки (от 0,1 мм до + 0,5 мм);
- пробных расточек (до + 0,02 мм);
- координатного растачивания на горизонтально-расточных станках (до 0,02 мм);
- обработки по кондукторам и шаблонам (до 0,02 мм, 0,03 мм).

##### *035 Сверлильная.*

Сверлить (зенковать при необходимости), нарезать резьбу в крепежных отверстиях. Технологическая база - та же. Оборудование - радиально-сверлильный, сверлильный с ЧПУ, многооперационный, сверлильный многошпиндельный и агрегатный станки (в зависимости от

типа производства).

*040 Плоскошлифовальная.*

Шлифовать (при необходимости) плоскость основания. Технологическая база - поверхность основного отверстия или обработанная плоскость, параллельная базовой (в зависимости от требуемой точности расстояния от базовой плоскости до оси основного отверстия).

Оборудование - плоскошлифовальный станок с прямоугольным или круглым столом.

*045 Алмазно-расточная.*

Тонкое растачивание основного отверстия. Технологическая база - базовая плоскость и два отверстия. Оборудование - алмазно-расточной станок. Для выдерживания принципа постоянства баз большинство операций обработки (020, 025, 030, 035), за исключением операций подготовки технологических баз (010, 015) и отделки основных поверхностей (040, 045), часто концентрируют в одну операцию, выполняемую на горизонтально-расточном (единичное производство), многооперационном (серийное) или агрегатном (массовое) станках.

Маршрут обработки разъемных корпусов дополнительно включает:

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

#### **1.4.7. Типовой маршрут изготовления фланцев**

*005 Заготовительная.*

В зависимости от типа производства и материала - лить, ковать, штамповать заготовку или отрезать из проката.

*010 Токарная.*

Подрезать торец большого фланца и торец центрирующего пояска, точить наружную цилиндрическую поверхность пояска с припуском под шлифование, точить канавку и фаски. Технологическая база - наружная поверхность и торец фланца. Станок токарный, многошпиндельный токарный полуавтомат, токарный с ЧПУ.

*015 Токарная.*

Подрезать второй торец большого фланца, точить его наружную поверхность и фаску. Технологическая база - поверхность центрирующего пояска и его торец.

*020 Сверлильная.*

Сверлить и зенковать отверстия. Технологическая база - та же. Станок вертикально-сверлильный, сверлильный с ЧПУ, агрегатно-сверлильный с многошпиндельной головкой.

*025 Фрезерная.*

Фрезеровать фланец с лысками. Технологическая база - та же плюс крепежное отверстие. Станок - вертикально-фрезерный.

*030 Шлифовальная.*

Шлифовать наружную поверхность центрирующего пояска и торец.

Технологическая база - наружная поверхность большого фланца и торец. Станок - универсально-шлифовальный или торцевокруглошлифовальный.

*035 Контрольная.*

## 1.5. Изготовление резьбовых деталей

### 1.5.1. Классификация и требования к резьбовым деталям

Применяют цилиндрические резьбы (крепежные и ходовые), а также конические резьбы.

Основная крепежная резьба - метрическая резьба треугольного профиля с углом  $60^\circ$ . Ходовые резьбы бывают с прямоугольным и трапецеидальным профилем; последние бывают однозаходные и многозаходные.

Резьба может быть наружная (на наружной поверхности детали) и внутренняя (на внутренней поверхности детали).

Для метрических резьб различают три класса точности: точный, средний и грубый. Точный класс соответствует в основном 4-5-му качеству, средний - 6-му качеству, грубый - 7-8-му качеству.

### 1.5.2. Методы нарезания резьбы

Наружную резьбу изготавливают резцами, гребенками, плашками, самораскрывающимися резьбонарезными головками, дисковыми и групповыми фрезами, шлифовальными кругами, накатным инструментом.

Для внутренней резьбы применяют: резцы, метчики, раздвижные метчики, групповые фрезы, накатные ролики (таблица 1.2).

Нарезание резьб осуществляется на резьбонарезных и резьбофрезерных станках и полуавтоматах, гайконарезных автоматах, резьбонакатных, резьбошлифовальных, токарных и других станках.

Таблица 1.2 – Точность резьбы в зависимости от способа резьбонарезания, типа и состояния режущей части резьбообразующего инструмента

| Инструмент   | Класс точности                          |
|--|---|
| Резьбовой резец:<br>со шлифованной режущей частью                      | Средний и грубый<br>(Rz= 20,4-1,25 мкм) |
| с доведенной » »   | Средний и точный<br>(Ra = 2,5-0,65 мкм) |
| Плашка:<br>нешлифованная   | Грубый (Rz = 40-20 мкм)                 |
| доведенная на притире  | Средний (Rz = 20-2,5 мкм)               |
| Резьбовая фреза:<br>нешлифованная                                      | Грубый (Rz = 40-2,5 мкм)                |
| шлифованная  | Средний (Rz= 20-1,25 мкм)               |
| Резьбонарезная головка с режущими<br>элементами:<br>с нешлифованными , | Средний и грубый<br>(Rz= 20-2,5 мкм)    |
| со шлифованными  | Точный и средний<br>(Ra- 2,5-1,25 мкм)  |
| Метчик:<br>нешлифованный   | Грубый (Rz = 40-20 мкм)                 |

|  |  |
|--|--|
| Метчик:<br>шлифованный   | Точный и средний<br>( $R_z = 20-1,25$ мкм) |
| Абразивный круг  | Точный ( $R_a = 1,25-0,32$ мкм)            |
| Резьбонарезание - накатывание плашками<br>и роликами на шлифованной поверхности<br>заготовки шлифованным инструментом: |  |
| наружная обработка   | Точный ( $R_a = 1,25-0,32$ мкм)            |
| внутренняя   | Средний ( $R_a = 2,5-0,63$ мкм)            |

### 1.5.3. Нарезание резьбы на токарных станках резцами и гребенками

Это малопроизводительный процесс, так как обработка осуществляется за несколько рабочих ходов и требует высокой квалификации рабочего. **Достоинство** - универсальность оборудования, инструмента и возможность получить резьбу высокой точности.

Для повышения точности резьбы осуществляют как черновые, так и чистовые рабочие ходы разными резцами. Различают два способа нарезания треугольной резьбы:

- 1) радиальное движение подачи;
- 2) движение подачи вдоль одной из сторон профиля.

Первый способ более точный, но менее производительный, поэтому рекомендуется черновые рабочие ходы делать вторым способом, а чистовые - первым (рисунок 1.28а).

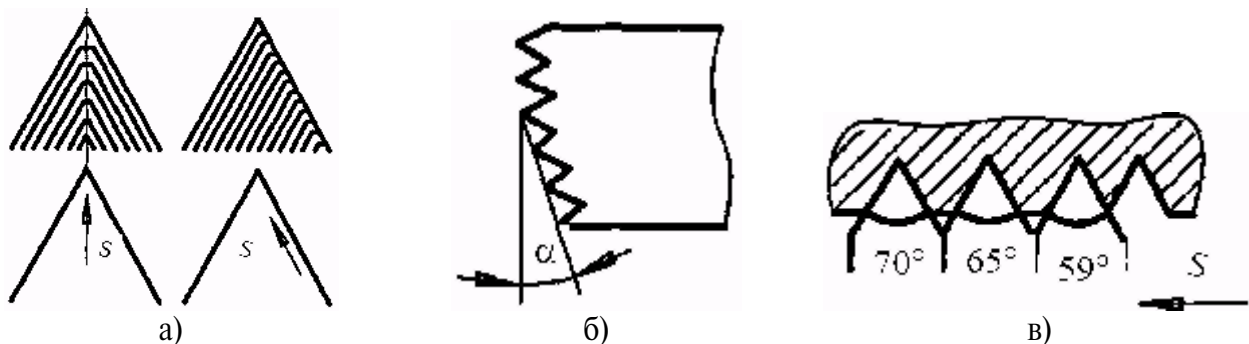


Рисунок 1.28 – Схемы нарезания резьб:

а – с радиальной подачей и с подачей вдоль одной из сторон; б – расположение зубьев резьбовой гребенки; в – набором резцов

Для повышения производительности обработки резьбы применяют резьбовые гребенки. Обычно ширину гребенки принимают равной не менее чем шести шагам. При использовании гребенок снятие стружки выполняют несколько зубьев (рисунок 1.28б) и число рабочих ходов может быть уменьшено до одного.

Для скоростного нарезания резьбы применяют резцы, оснащенные твердым сплавом, а также наборы резцов (рисунок 1.28в).

На рисунке 1.29 показаны виды гребенок.

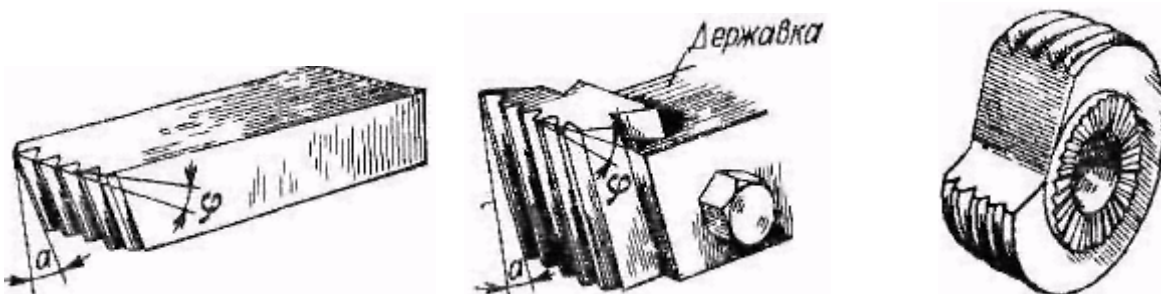


Рисунок 1.29 – Многониточные резьбовые резцы (гребенки)

Токарные станки применяются для нарезания резьбы:

на поверхностях, предварительно обработанных на этом же токарном же станке, что обеспечивает правильное положение резьбы относительно других поверхностей;

нарезания точных длинных винтов (тогда токарный станок, работающий одним резцом, имеет преимущество перед другими методами);

при выполнении работ, подходящих для резьбофрезерного станка, когда его нет или объем партии мал;

нарезания резьбы большого диаметра, нестандартного профиля или шага, а также когда приобретение подходящих плашек и метчиков не оправдывается объемом производства;

нарезания прямоугольных резьб, чистовое фрезерование которых невозможно, а применение плашек и метчиков затруднительно, как при обработке крупных заготовок.

Резьбу после нарезания резцом иногда калибруют точными плашками (часто вручную).

Нарезание резьбы на токарном станке применяется в единичном и мелкосерийном производствах, а в крупносерийном и массовом производствах - для нарезания длинных или точных резьб.

#### 1.5.4. Вихревой метод нарезания резьбы

Используется в крупносерийном и массовом производствах. На каретке токарно-винторезного станка вместо суппорта с резцедержателем устанавливают приспособление (рисунок 1.30), состоящее из быстро вращающегося шпинделя 5 и резцовой головки 4, в которой закрепляется резьбовой резец 6. Резцовая головка получает вращение со скоростью 1000-3000 об/мин от электродвигателя 1, установленного на каретке, через клиноременную передачу 3 и ступенчатый шкив 2.

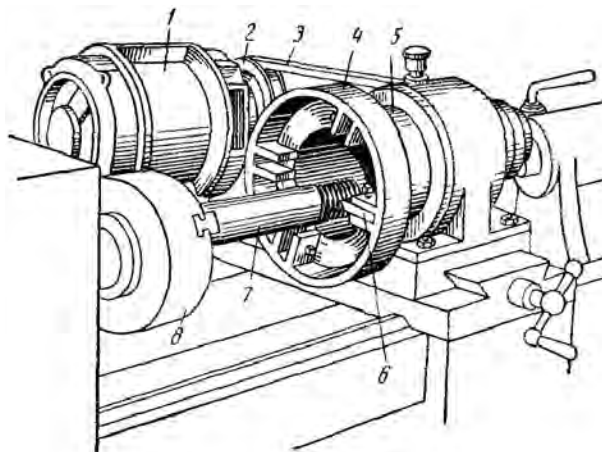


Рисунок 1.30 – Приспособление для нарезания резьбы вращающимся резцом

Деталь 7, на которой нарезается резьба, крепят в патроне 8, а при большой длине ее устанавливают в центрах станка. Деталь получает от шпинделя станка медленное вращение (3-30 об/мин). Резец устанавливают на полную глубину резьбы, резцовую головку 4 приводят во вращение в направлении, обратном направлению вращения детали. Одновременно головка 4 вместе с суппортом получает движение продольной подачи: за один оборот детали она перемещается на величину, равную шагу резьбы.

Схема такого нарезания резьбы показана на рисунке 1.31. Ось резцовой головки смещена относительно оси детали на величину  $b$ . Из-за этого резец в течение одного оборота головки соприкасается с деталью не по всей окружности, а только на небольшой ее части, срезая тонкую короткую стружку. Так как за один оборот детали резец делает от 100 до 300 оборотов, то за это время он срезает несколько сотен коротких стружек, которые вихрем

отлетают от реза. На рисунке 1.31б приведена схема вихревого нарезания внутренней резьбы.

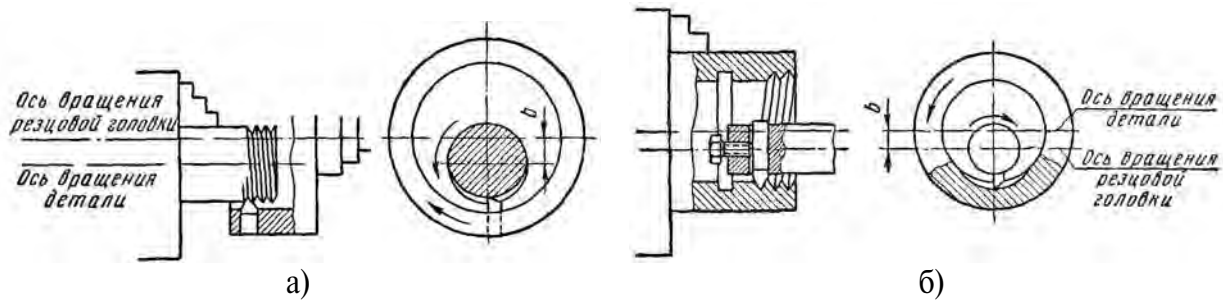


Рисунок 1.31 – Схема нарезания резьбы вращающейся резцовой головкой:  
а – наружной резьбы; б – внутренней

**Преимущества** вихревого метода нарезания резьбы:

- а) высокая скорость резания и производительность;
- б) повышается точность нарезаемой резьбы и чистота обработанной поверхности;
- в) работа производится без охлаждения.

#### 1.5.5. Нарезание резьбы плашками, метчиками, резьбонарезными головками

Плашка (рисунок 1.32) - это кольцо из углеродистой или быстрорежущей стали с резьбой на внутренней поверхности и стружечными канавками 1, которые служат для образования режущих кромок 2, а также для выхода стружки.

Круглые плашки изготавливают цельными (рисунок 1.32а) или разрезными (рисунок 1.32б). Диаметр разрезных плашек можно регулировать в небольших пределах, что удлиняет срок их службы. Разрезные плашки применяют для нарезания резьб невысокой точности. Более точную резьбу нарезают цельными плашками, так как они более жесткие.

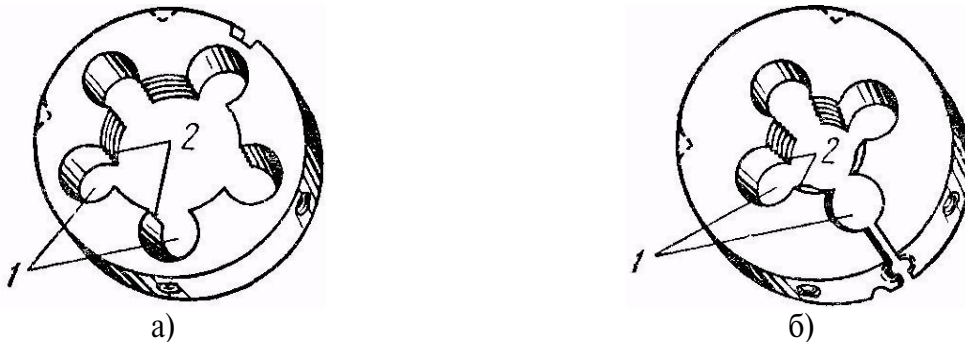


Рисунок 1.32 – Плашки:  
а – цельная, б – разрезная

Плашку вставляют в специальный плашкодержатель (рисунок 1.33) и закрепляют винтами.

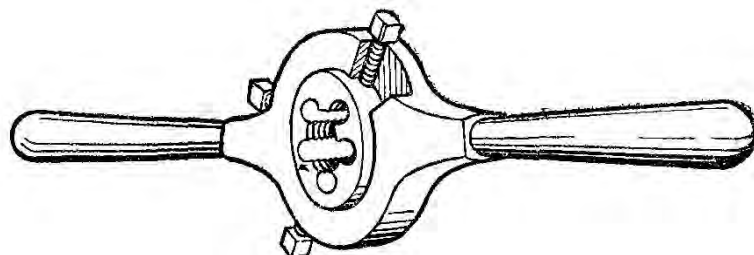


Рисунок 1.33 – Плашкодержатель



Нарезаемую заготовку закрепляют в патрон: она должна быть предварительно обточена по наружному диаметру резьбы болта. На торце заготовки снимают фаску, чтобы плашка легче врезалась в металл.

Нарезание резьбы плашкой начинают с нарезания вручную нескольких ниток (рисунок 1.34). После этого включают станок и ведут нарезание дальше, упирая рукоятку плашкодержателя в суппорт (рисунок 1.35).

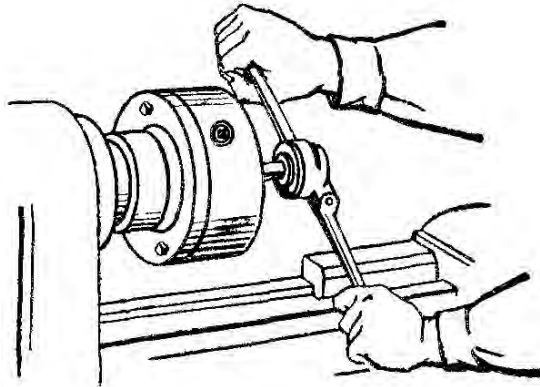


Рисунок 1.34 – Нарезание резьбы плашкой на токарном станке вручную

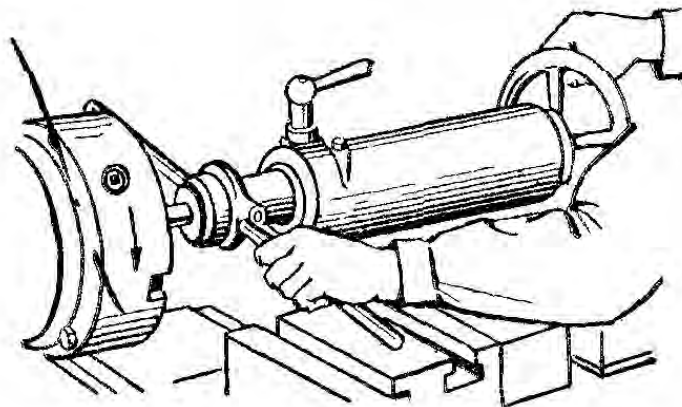


Рисунок 1.35 – Нарезание резьбы плашкой при вращении детали

Рекомендуются следующие скорости резания: сталь - 3-4 м/мин, чугун - 2,5 м/мин, латунь - 9-15 м/мин. СОЖ для стальных заготовок осерненные масла или вареное масло, для чугуна - керосин. **Недостаток** всех плашек - необходимость свинчивания их по окончании резания, что снижает производительность и несколько ухудшает качество резьбы.

Нарезание наружной резьбы резьбонарезными самооткрывающимися головками значительно точнее, производительнее и отличается большей точностью, чем ранее рассмотренные методы. Оно находит широкое применение в серийном и массовом производстве. Такие головки используют на токарных автоматах и полуавтоматах.

Внутреннюю резьбу небольших размеров нарезают метчиками. Метчик - винт с несколькими продольными канавками, которые образуют режущие кромки и служат для выхода стружки.

Основными частями его являются коническая заборная режущая часть *1* (рисунок 1.36), калибрующая и направляющая часть *2*, канавки *3*, цилиндрическая часть *4*, называемая шейкой, и квадрат *5* для закрепления метчика в воротке или патроне.

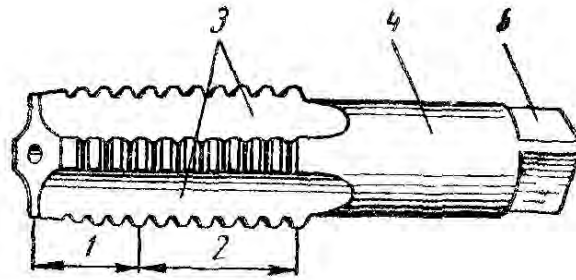


Рисунок 1.36 – Метчик

Основную работу при нарезании резьбы производит заборная часть 1, зубья которой срезаны и имеют переменный профиль. Вслед за заборной частью в отверстие входит калибрующая часть 2, которая служит для зачистки и калибрования нарезаемой резьбы.

Существует несколько видов метчиков:

1) Для нарезаний метрической или дюймовой резьбы на токарных станках пользуются комплектом ручных метчиков, состоящим обычно из трех штук, которыми последовательно нарезают резьбу в отверстии (рисунок 1.37). Первым и вторым метчиками нарезают резьбу не на полный профиль, третьим зачищают резьбу, придавая ей окончательные размеры и форму. Номер каждого метчика комплекта узнают по числу рисок на хвостовой части.

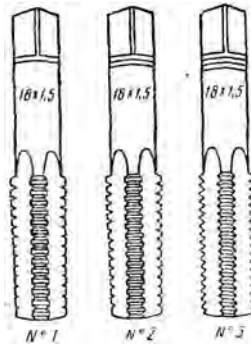


Рисунок 1.37 – Комплект метчиков

2) Для нарезания резьбы в сквозных отверстиях длиной не более диаметра резьбы применяют гаечные метчики (рисунок 1.38) с длинной заборной частью, которыми нарезают резьбу за один проход.



Рисунок 1.38 – Гаечный метчик

При нарезании резьбы метчиками, небольшие отверстия обычно нарезают сразу же после сверления; большие отверстия предварительно растачивают.

Диаметры отверстий под резьбу выбирают по таблицам.

Длина глухих отверстий под резьбу должна быть больше длины нарезаемой в них резьбы на величину заборной части метчика, т. е. на два-три шага резьбы.

При нарезании резьбы хвостовик метчика, заканчивающийся квадратом, закрепляют болтами в квадратном отверстии 1 приспособления (рисунок 1.39). Приспособление для закрепления метчика состоит из оправки 4 со шпонкой 3 и втулки 2 с пазом. Конический хвостовик 5 оправки вставляют в отверстие пиноли задней бабки.

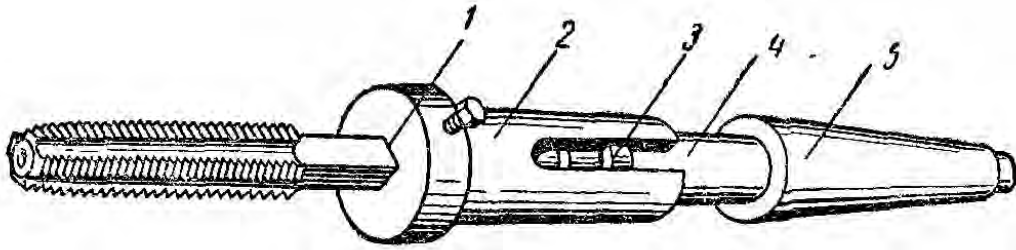


Рисунок 1.39 – Приспособление для закрепления метчика при нарезании резьбы на токарном станке

При нарезании резьбы заборную часть метчика вводят в нарезаемое отверстие. Как только метчик войдет в отверстие на 1-1,5 витка и получит необходимое направление, его дальнейшее перемещение будет осуществляться самозатягиванием благодаря вращению детали.

Путем соответствующей установки шпонки 3 относительно торцевой поверхности втулки 2 можно нарезать резьбу на заданную длину. По достижении этой длины нарезание резьбы автоматически прекратится.

Скорости резания: сталь - 3-15 м/мин, чугун, бронза и алюминий - 6-22 м/мин. СОЖ для деталей из стали - сульфозфрезол, для деталей из чугуна, бронзы и алюминия - эмульсия или керосин.

### 1.5.6. Фрезерование резьбы дисковыми и гребенчатыми фрезами

Фрезерование резьбы применяется в серийном и массовом производствах на резьбофрезерных станках. Оно осуществляется двумя основными способами: дисковой фрезой (рисунок 1.40а) и групповой (гребенчатой) фрезой (рисунок 1.41).

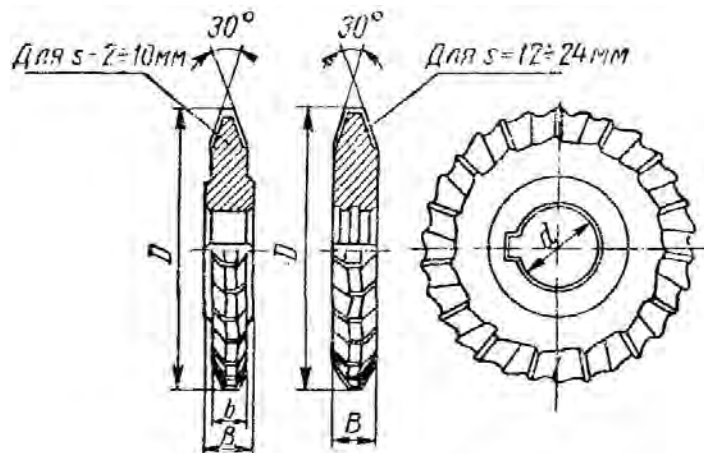


Рисунок 1.40 – Дисковая фреза для нарезания трапецидальных резьб

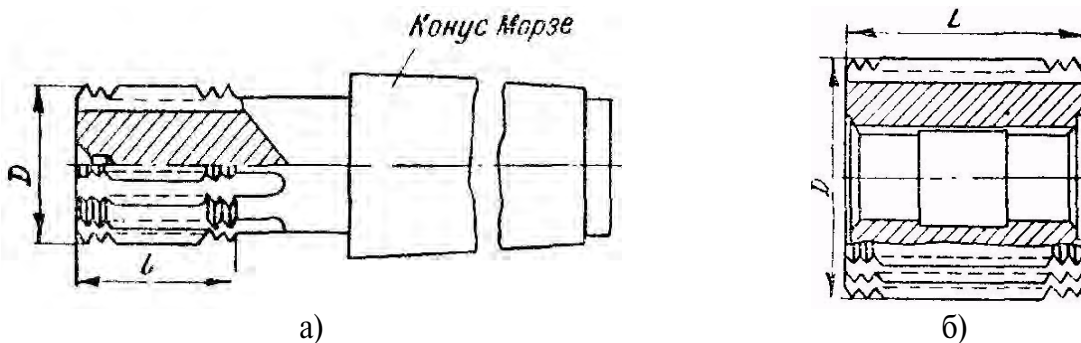


Рисунок 1.41 – Резьбовые фрезы:  
а – с коническим хвостовиком; б – насадная

При предварительной нарезке резьбы на длинных деталях ( $l > 70$  мм) применяют однониточные (дисковые) резьбовые фрезы (в основном для резьбы трапецеидального профиля). При фрезеровании фреза получает быстрое вращательное движение, определяющее скорость резания и устанавливается на углом  $\gamma$  к оси заготовки (рисунок 1.42). Последняя имеет сложное движение - медленное вращательное движение вокруг своей оси и согласованное с ним поступательное движение вдоль оси. Обработку производят на горизонтально-фрезерном станке. При чистовом нарезании резьбы после фрезерования требуется дальнейшая обработка резцом или шлифовальным кругом.

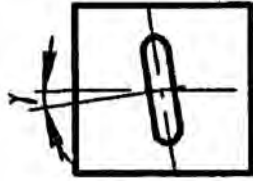


Рисунок 1.42 – Схемы фрезерования резьбы дисковой фрезой

Наименьший диаметр фрезеруемой гребенчатой резьбовой фрезой наружной резьбы - 10 мм, внутренней - 20 мм. Длина резьбы - до 70 мм. Гребенчатые резьбовые фрезы изготовляют двух типов: с хвостовиком и насадные. В процессе нарезания резьбы вращательное движение имеют фреза и деталь (рисунок 1.43). При этом фреза получает перемещение вдоль оси на шаг резьбы за один оборот детали и поперечное движение на высоту нарезаемой резьбы. Полная обработка осуществляется за 1,5-1,6 оборота заготовки, включая подвод фрезы, ее врезание и отвод. Между фрезой и заготовкой создается встречное фрезерование, что уменьшает вибрации и улучшает качество обрабатываемой поверхности.

При внутреннем фрезеровании диаметр фрезы берут в пределах 0,6-0,7 диаметра фрезеруемой резьбы. Длина режущей части гребенчатой резьбовой фрезы должна быть больше длины фрезеруемой резьбы на два-три шага.

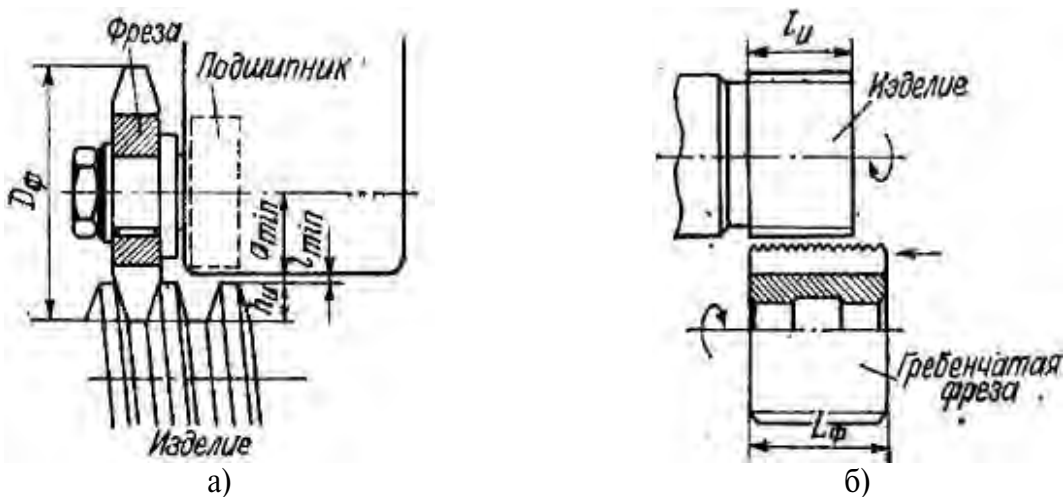


Рисунок 1.43 – Схемы фрезерования резьбы гребенчатыми резьбовыми фрезами:  
а – однониточными; б – многониточными

### 1.5.7. Формирование резьбы пластическим деформированием

В приборостроении распространено накатывание плоскими плашками (рисунок 1.44а), роликами равных диаметров (рисунок 1.44б), роликами разных диаметров с подачей на проход (тангенциальной - рисунок 1.44в), сегментом и роликом (рисунок 1.44г).

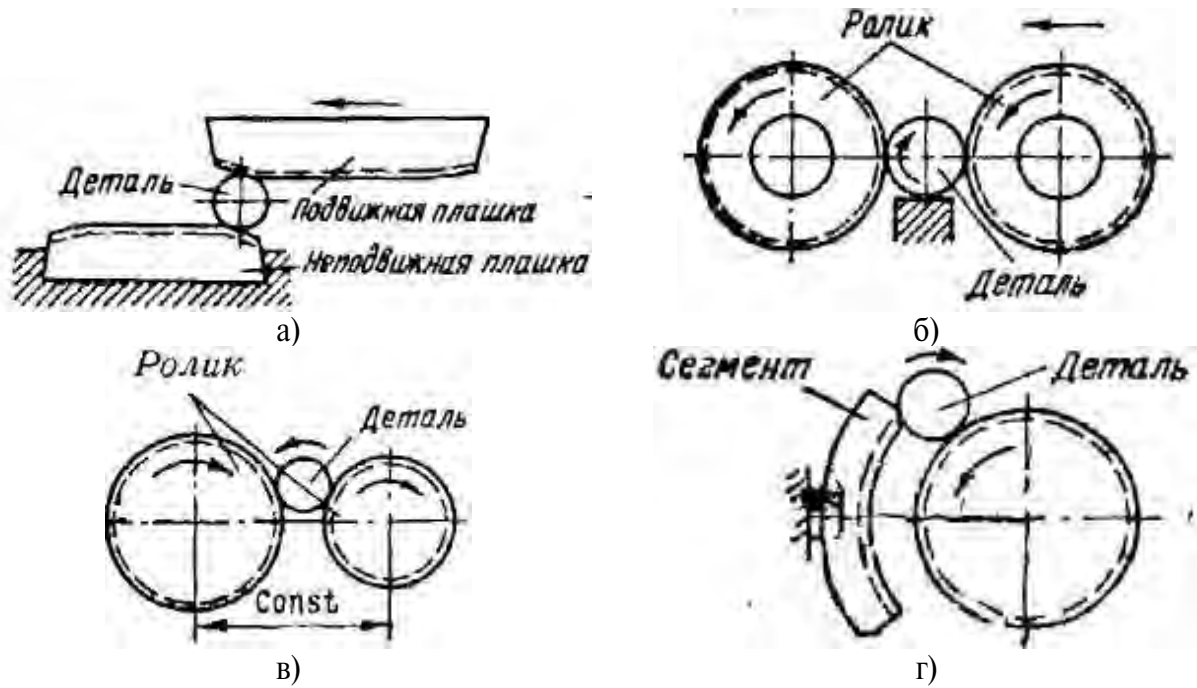


Рисунок 1.44 – Способы накатывания резьбы

#### Преимущества накатывания резьбы.

Резьба образуется за счет перемещения металла заготовки из зоны впадин в зону вершин, что сопровождается большими радиальными усилиями, под действием которых пластически деформированный поверхностный слой уплотняется, приобретая повышенную механическую прочность (рисунок 1.45). Волокна, образующие профиль резьбы, при накатывании не перерезаются, в результате чего увеличивается предел прочности при растяжении и на срез, повышается усталостная прочность.



Рисунок 1.45 – Расположение волокон материала:  
а – накатанной резьбы; б – нарезанной плашкой резьбы

Накатывание обеспечивает шероховатость поверхности витка меньшую, чем шлифование или доводка, что дает высокую износоустойчивость.

Кроме того увеличивается срок службы инструмента.

#### 1.5.8. Способы шлифования резьбы

Шлифование резьбы выполняют чаще всего после термической обработки заготовок. Резьбошлифование может быть наружным и внутренним, осуществляется на различных резьбошлифовальных станках.

Четыре способа шлифования резьбы: однониточным кругом, многониточным цилиндрическим, многониточным коническим и бесцентровое шлифование.

Однониточным кругом (рисунок 1.46а), подаваемым вдоль оси детали, шлифуются резьбы высокой точности (точность в пределах 0,0025 мм по среднему диаметру, 10' по углу профиля, 0,0025 мм по шагу на длине 25 мм).

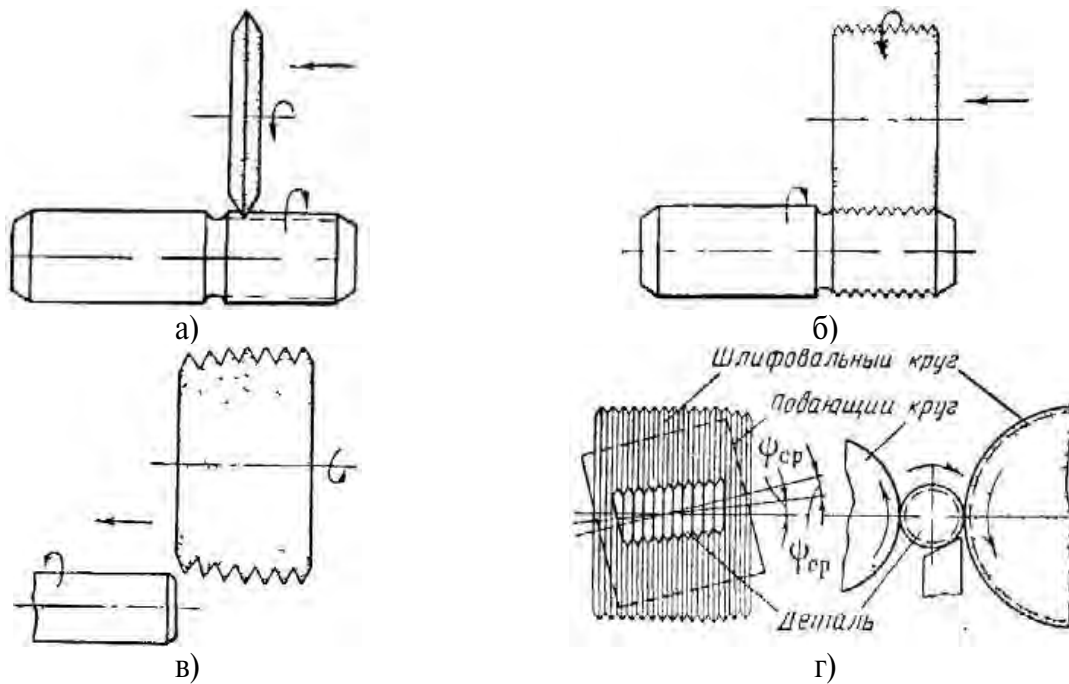


Рисунок 1.46 – Способы шлифования резьбы

Шлифование врезанием (рисунок 1.46б) осуществляется многониточным цилиндрическим шлифовальным кругом с кольцевыми канавками, имеющими профиль и шаг нарезаемой резьбы. Когда деталь делает один оборот, круг подается вдоль ее оси на величину шага резьбы. Способ менее точный, но более производительный.

Многониточным коническим кругом (рисунок 1.46в), перемещаемым вдоль оси, шлифуются длинные резьбы. Круг - это как бы ряд однониточных дисков, диаметры которых последовательно возрастают. Каждый диск круга работает при небольшой глубине резания, что позволяет шлифовать длинные нежесткие детали. Поскольку  $2/3$  ширины круга имеют коническую форму, а последняя треть - цилиндрическую, то при затуплении вершины профиля первого диска цилиндрической части вступает в работу второй диск и т. д. Точность выше, чем во втором способе.

При бесцентровом шлифовании резьбы (рисунок 1.46г) точность по шагу 0,01-0,02 мм на длине 25 мм, среднему диаметру - до 0,005 мм. Погрешность угла профиля зависит от точности роликов для правки круга.

## 1.6. Изготовление зубчатых колёс

### 1.6.1. Классификация, материалы и требования к зубчатым колесам

В приборостроении применяют эвольвентное зубчатое зацепление с углом  $20^\circ$  малых модулей (0,5; 0,3; 0,15 мм).

Для тихоходных зубчатых передач обычно применяют латунь ЛС59-1, т.к. она легко обрабатывается и мало корродирует. Стали У8А, У10А, применяют для изготовления трибок и червяков.

Для высокой износоустойчивости червячные зубчатые колеса изготавливаются из бронзы марок БрА10 и БрАМц9-2.

#### Технологические требования.

**Точность размеров.** Самым точным элементом зубчатого колеса является отверстие, которое выполняется обычно по 7-му качеству.

*Точность взаимного расположений.* Несоосность начальной окружности зубчатого колеса относительно посадочных поверхностей не более 0,05-0,1 мм. Неперпендикулярность торцов к оси отверстия или вала (биение торцов) не более 0,01-0,015 мм на 100 мм диаметра.

*Твердость рабочих поверхностей.* В результате термической обработки поверхностная твердость зубьев должна быть в пределах HRC 45...60. Твердость незакаливаемых поверхностей обычно находится в пределах HB 180...270.

По технологическому признаку зубчатые колеса делятся на:

- цилиндрические и конические без ступицы и со ступицей, с гладким или шлицевым отверстием;
- многовенцовые блочные с гладким или шлицевым отверстием;
- цилиндрические, конические и червячные типа фланца;
- цилиндрические и конические с хвостовиком;
- валы-шестерни.

Обработка зубчатых колес разделяется на два этапа: обработку до нарезания зубьев и обработку зубчатого венца. Задачи первого этапа соответствуют в основном аналогичным задачам, решаемым при обработке деталей классов: диски (зубчатое колесо плоское без ступицы), втулки (со ступицей) или валов (вал-шестерня). Операции второго этапа обычно сочетают с отделочными операциями обработки корпуса колеса.

Выбор базовых поверхностей зависит от конструктивных форм зубчатых колес и технических требований. У колес со ступицей (одновенцовых и многовенцовых) с достаточной длиной центрального базового отверстия ( $L/D > 1$ ) в качестве технологических баз используют: двойную направляющую поверхность отверстия и опорную базу в осевом направлении - поверхность торца.

У одновенцовых колес типа дисков ( $L/D < 1$ ) длина поверхности отверстия недостаточна для образования двойной направляющей базы. Поэтому после обработки отверстия и торца установочной базой для последующих операций служит торец, а поверхность отверстия - двойной опорной базой. У валов-шестерен в качестве технологических баз используют, как правило, поверхности центровых отверстий.

На первых операциях черновыми технологическими базами являются наружные необработанные поверхности. После обработки отверстия и торца их принимают в качестве технологической базы на большинстве операций. Колеса с нарезанием зубьев после упрочняющей термообработки при шлифовании отверстия и торца (исправление технологических баз) базируют по эвольвентной боковой поверхности зубьев для обеспечения наибольшей соосности начальной окружности и посадочного отверстия.

Для концентричности поверхностей вращения колеса применяют следующие варианты базирования. При обработке штампованных и литых заготовок на токарных станках за одну установку, заготовку крепят в кулачках патрона за черную поверхность ступицы или черную внутреннюю поверхность обода. При обработке за две установки заготовку сначала крепят за черную поверхность обода и обрабатывают отверстие, а при второй установке заготовки на оправку обрабатывают поверхность обода и другие поверхности колеса.

### 1.6.2. Методы получения заготовок

Зубчатые колеса изготавливают со снятием и без снятия стружки (штамповкой, накатыванием, литьем под давлением и волочением).

Штампуются тонкие зубчатые колеса при  $m = 0,5$  мм (в приборостроении применяется редко). Накатывают зубчатые колеса с модулем от 0,3 до 1 мм. Под давлением отливаются неточные зубчатые колеса. Чаще всего зубчатые колеса обрабатываются со снятием стружки.

### 1.6.3. зубонарезание цилиндрических колес по методу копирования

Основная работа при зубонарезании - удаление материала впадины зубчатой детали. Это достигается двумя методами: копированием и обкаткой.

При копировании применяют инструменты, профиль режущей кромки которых совпадает с профилем впадины и при обработке копируется на заготовке. Обработка по этому методу возможна при минимальном числе формообразующих движений на станках с простой кинематикой.

Инструменты, работающие по методу копирования - дисковые и пальцевые модульные фрезы (в единичном производстве), зуборезные головки и протяжки (в массовом производстве).

Режущие кромки зубьев дисковой (рисунок 1.47а) или концевой фрезы (рисунок 1.47б) изготавливают по форме впадины между зубьями колеса, и при фрезеровании они копируют форму впадины, создавая, таким образом, две половины профилей двух соседних зубьев. После нарезания одной впадины заготовка поворачивается на один зуб с помощью делительного механизма, и фреза снова проходит по новой впадине между зубьями, и т.д. (рисунок 1.47в).

Так обрабатывают прямозубые, косозубые и крупномодульные зубчатые колеса на универсальных фрезерных станках. Однако такая обработка сопровождается погрешностями периодического деления, выполняемого делительной головкой, что вместе с погрешностями установки фрезы и отклонениями ее профиля не позволяет получить колеса выше 10 и 9 качества. Кроме того каждому числу зубьев соответствует свой профиль зубной впадины. Иметь для каждого числа зубьев свою фрезу невыгодно, и поэтому применяют один и тот же инструмент для нарезания группы колес с близкими числами зубьев.

При нарезании зубчатых колес дисковыми и пальцевыми модульными фрезами главное движение резания сообщается (рисунок 1.47г, д) инструменту, а движение подачи - заготовке, установленной в делительном приспособлении. Направление движения подачи при обработке прямозубых колес совпадает с направлением зуба. Так же направлено движение подачи при нарезании косозубых колес дисковой модульной фрезой, но при этом стол фрезерного станка разворачивают на угол в наклоне зубьев и его ходовой винт зубчатыми передачами связывают со шпинделем делительной головки, где установлена заготовка. При нарезании косозубых и шевронных колес пальцевой модульной фрезой стол не разворачивают, но вращение его ходового винта передается зубчатыми колесами заготовке, установленной в шпинделе делительного устройства на столе. В результате сложения движения стола и поворота заготовки нарезается наклонный или шевронный зуб (рисунок 1.47д).

В массовом производстве применяют зубодолбежные резцовые головки (рисунок 1.47е). Производительность такого метода очень высока, точность зависит от точности резцовой головки.

Для каждого колеса используется специальный инструмент, количество резцов которого и их профиль совпадают с количеством и формой впадин зубьев. В диске 1 этого инструмента прорезаны пазы по числу зубьев нарезаемого колеса; в каждом пазу находится подвижный профильный резец 5. Диск 2 удерживает резцы от перемещения вверх. Рабочий шпиндель станка с укрепленной на нем заготовкой 6 совершает вертикальное возвратно-поступательное движение. После каждого его двойного хода резцы получают движение к центру колеса и продвигаются до тех пор, пока не врежутся на полную глубину впадины. Конусное кольцо 3 ставит резцы в рабочее положение, а кольцо 4 отодвигает их после каждого рабочего хода.

Другой разновидностью нарезания зубчатых колес методом копирования является протягивание как наружных, так и внутренних зубчатых поверхностей, характеризующееся высокой производительностью (рисунок 1.47ж).

Использование этих методов требует применения специального оборудования и потому целесообразно лишь в массовом и крупносерийном производстве.



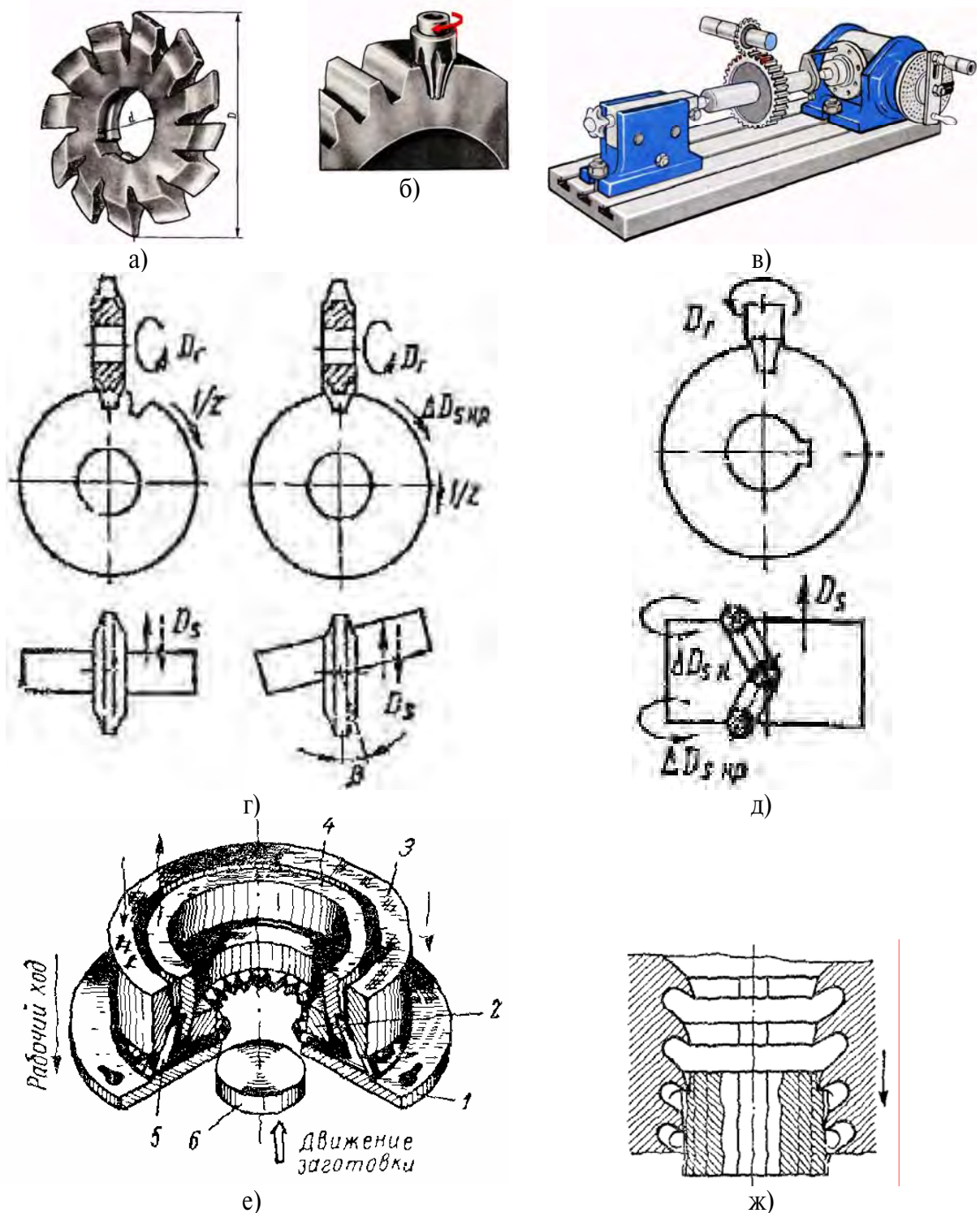


Рисунок 1.47 – Схемы обработки и инструменты, работающие по методу копирования:

а – дисковые модульные фрезы; б – пальцевые модульные фрезы; в – нарезание зубчатых колес на универсально-фрезерных станках; г – схемы нарезания цилиндрических колес дисковыми модульными фрезами; д – схема нарезания шевронного колеса пальцевой модульной фрезой; е – многорезцовая головка; ж – протягивание зубчатых колес

Из-за необходимости получения высокой точности и малой шероховатости профиля зуба обработку ведут в несколько проходов или переходов двумя способами:

1. Каждый из переходов выполняется отдельной фрезой. На оправке устанавливаются три фрезы (рисунок 1.48а.). Первая фреза является шлицевой, вторая по размерам и форме близка к окончательному профилю (оставляет припуск 0,1-0,2 мм), третья имеет окончательный профиль. Вначале вступает в работу первая фреза. После того как она прорежет все впадины зубьев, стол станка перемещают, чтобы в рабочем положении оказалась вторая

фрезы (может быть использована изношенная третья фреза). После второго перемещения стола в рабочем положении окажется третья фреза. Недостатком - неточность установки фрез по оси обрабатываемой детали, что при малых припусках на чистовые проходы, может привести к образованию необработанных участков. Для точной установки фрезы по оси обрабатываемой детали применяют специальные устройства.



Рисунок 1.48 – Схема фрезерования зуба в три перехода:  
а – установка фрез, б – последовательность переходов

2. Все переходы выполняются одной фрезой. При первом проходе фреза устанавливается на часть глубины впадины зуба, выполняя черновое прорезание. После прорезания всех впадин зубьев фрезу углубляют на требуемую величину для выполнения окончательного фрезерования. Недостаток - повышенный износ фрезы, поэтому первый способ предпочтителен.

#### 1.6.4. Изготовление зубчатых колёс по методу обката

При методе обкатки заготовка и инструмент воспроизводят движение пары сопряженных элементов зубчатой или червячной передачи. Для этого либо инструменту придается форма детали, которая могла бы работать в зацеплении с нарезаемым колесом (зубчатое колесо, зубчатая рейка, червяк), либо инструмент выполняют таким образом, чтобы его режущие кромки описывали в пространстве поверхность профиля зубьев некоторого зубчатого колеса или зубчатой рейки, которые называют соответственно производящим колесом или производящей рейкой.

В процессе взаимного обкатывания заготовки и инструмента режущие кромки инструмента, постепенно удаляя материал из нарезаемой впадины заготовки, образуют на ней зубья.

Нарезание зубьев цилиндрических зубчатых колес методом обкатки производится с помощью червячных фрез (зубофрезерование); дисковых долбяков (зубодолбление) и долбяков в виде гребенок-реек (зубострогание).

Инструментами, работающими по методу обката, можно нарезать колеса с любым числом зубьев. При нарезании цилиндрических колес с прямым и винтовым зубом имитируется зацепление воображаемого зубчатого колеса или рейки с нарезаемым колесом-заготовкой. Роль воображаемого зубчатого колеса выполняет инструмент - зуборезный долбяк, а роль рейки - зуборезные гребенки или червячные модульные фрезы.

**Зубонарезание червячными фрезами.** За главное движение резания принимают вращение (рисунок 1.49а) фрезы, частоту  $n_{\phi}$  которого для создания движения обката согласуют с вращением заготовки так, чтобы за время одного оборота фрезы заготовка повернулась на  $k / Z_3$  - часть оборота, где  $k$  - число заходов червячной фрезы. Для радиального врезания фрезы в заготовку и нарезания зубьев по всей ее высоте фрезе соответственно сообщают радиальное движение подачи  $D_{спд}$  и вертикальное движение подачи  $D_{sb}$ , направленное вдоль оси нарезаемого колеса.

Фрезу на станке устанавливают таким образом, чтобы ее ось была повернута под углом в подъема винтовой линии витков фрезы (рисунок 1.49б). Заготовке косозубого колеса сообщается дополнительное вращение  $\Delta D_s$ , обеспечивающее при сложении с  $D_{sb}$  формообразование винтовых зубьев колеса. Знак дополнительного поворота  $\Delta D_s$ , зависит от

совпадения или несовпадения направления винтовой линии зуба колеса с направлением вращения заготовки (рисунок 1.49в).

Основой профиля стандартных червячных фрез является конволютный червяк, витки которого в сечении, нормальном к направлению витка, имеют прямолинейный профиль исходной зубчатой рейки (рисунок 1.49г).

По назначению различают червячные фрезы для нарезания цилиндрических прямозубых и косозубых колес, для обработки червячных колес, шлицевых валов, звездочек и т.д.

При черновом зубофрезеровании расстояние, на которое перемещается фреза в радиальном направлении, выбирают таким, чтобы всю обработку выполнить за один рабочий ход. Чистовое зубонарезание выполняют за несколько рабочих ходов, последний из которых проводится с радиальным припуском 0,10-0,15 мм, обеспечивая при этом шероховатость  $Ra = 6,3-0,8$  мкм. В зависимости от направления подачи  $D_{sb}$  относительно скорости резания различают попутное и встречное зубофрезерование. Попутное зубофрезерование обеспечивает меньший износ инструмента и меньшую шероховатость, но требует отсутствия свободного хода в механизме подачи ( $D_{sb}$ ) станка (рисунок 1.49в).

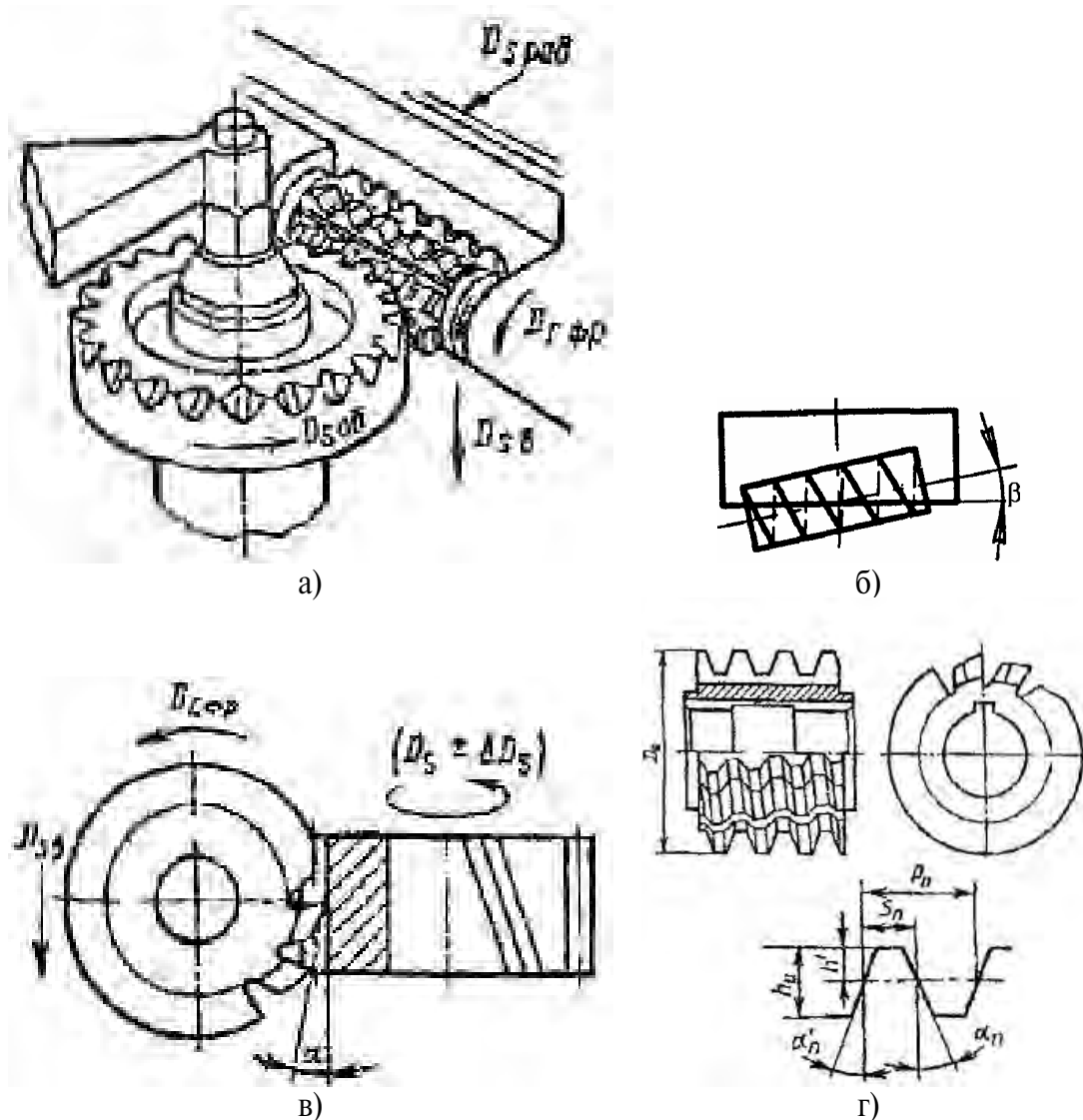


Рисунок 1.49 – Схемы работы и конструкции червячных фрез

**Зубодолбление.** Зуборезные долбяки представляют собой эвольвентные колеса, прямые (рисунок 1.50а) или винтовые (рисунок 1.50в), зубья которых изготовлены в виде режущих элементов. Эти элементы у прямозубых долбяков (рисунок 1.50б) ограничены передней

конической поверхностью с  $\gamma = 5^\circ$  и задними поверхностями, две из которых эвольвентные, а третья, коническая, расположена при вершине зуба и образует задний угол  $\alpha_b = 6...7^\circ$ . Главным движением резания при зубодолблении является поступательное перемещение долбяка, состоящее из рабочего (рисунок 1.50а) хода, при котором срезается стружка, и вспомогательного хода, при котором заготовка для устранения трения отводится от долбяка. Движениями подачи являются радиальное врезание  $D_{спал}$  долбяка на высоту зуба и обкат долбяка и заготовки. При нарезании колес с винтовым зубом (рисунок 1.50в) используемый косозубый долбяк с винтовыми линиями зубьев противоположными направлению зубьев нарезаемого колеса, совершает главное движение резания по винтовой линии.

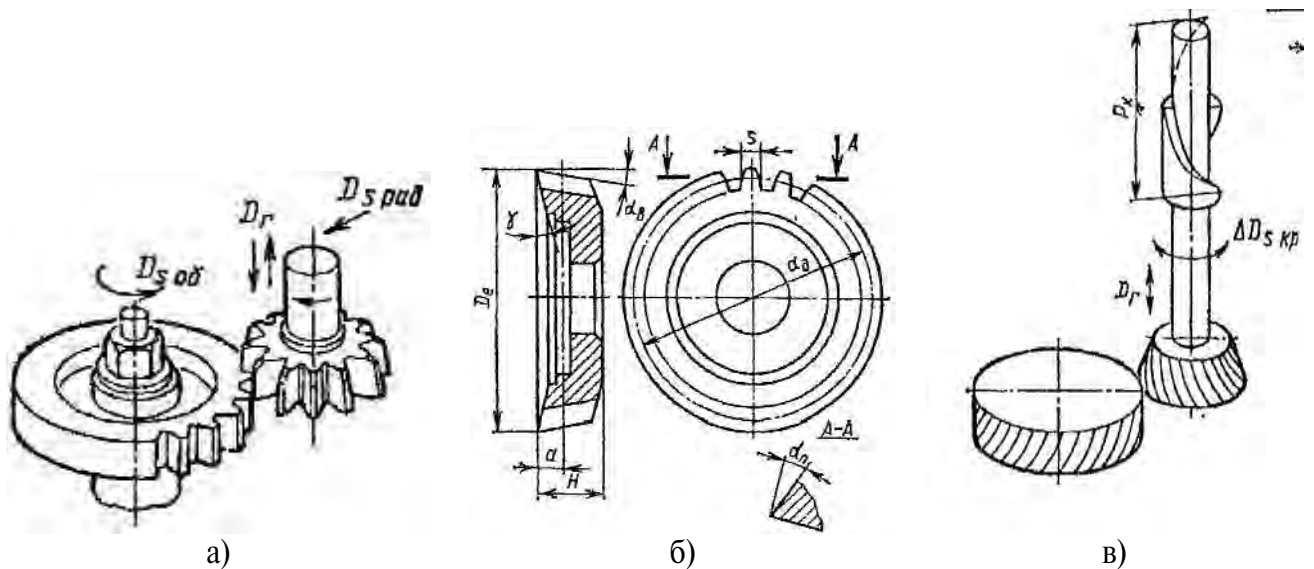


Рисунок 1.50 – Схемы работы и конструкции зуборезных долбяков

Долбяк и обрабатываемое колесо при зубонарезании обкатываются по начальным окружностям без проскальзывания.

Долбяками нарезают прямозубые и косозубые колеса внешнего и внутреннего зацепления, а также шевронные колеса. Точность обработки при зубодолблении соответствует 6-7 качеству и  $Rz = 30-15$  мкм.

Зубодолбление является единственным методом для нарезания колес с внутренним зацеплением (при средних и малых диаметрах), а также при обработке зубчатых венцов в блочных шестернях.

**Зубострогание.** Этот метод основан на зацеплении колеса и рейки, воспроизводимом инструментом - гребенкой. Обработка колес осуществляется на станках двух типов: с вертикальной и горизонтальной осью заготовки. Станки последнего типа применяют также для обработки колес с неразрывным шевронным зубом.

Зуборезная гребенка - прямозубая или косозубая рейка, зубья которой превращены путем заточки в резцы. В процессе обработки нарезаемое колесо своей начальной окружностью обкатывается по начальной прямой гребенки (рисунок 1.51а). Главное движение резания - возвратно-поступательное перемещение - получает гребенка, которая при рабочем ходе снимает стружку, а при вспомогательном ходе для уменьшения трения отводится от заготовки. Движение обката (движение подачи) складывается из медленного вращения заготовки и связанного с ним поступательного перемещения гребенки вдоль начальной прямой.

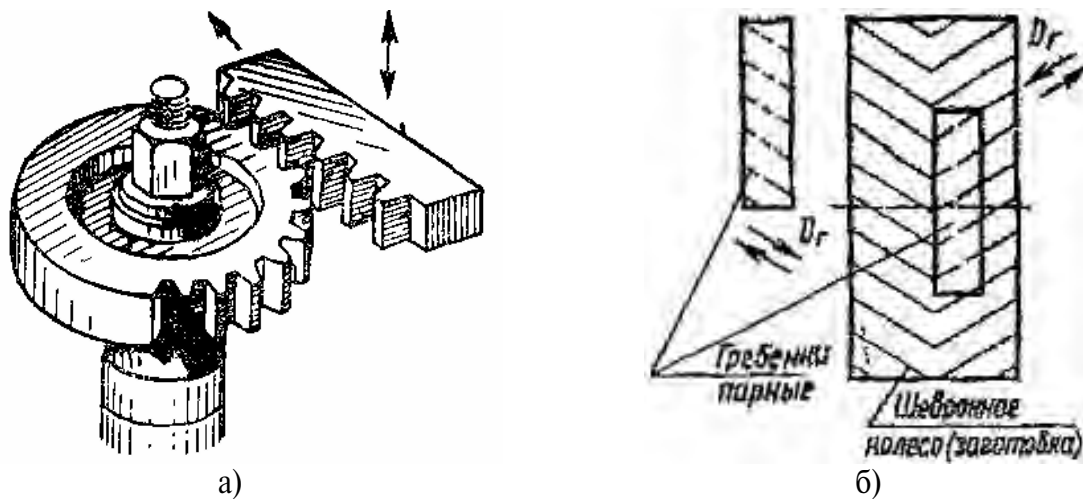


Рисунок 1.51 – Схемы работы зуборезных гребенок

Прямозубые гребенки используют для нарезания цилиндрических колес, а косозубые – для нарезания шевронных колес (рисунок 1.51б). Особенностью нарезания шевронных колес является использование работающих в паре косозубых гребенок с углом наклона зубьев  $\alpha = 30^\circ$ . Каждая из гребенок обрабатывает свою сторону шеврона, при этом происходит возвратно-поступательное движение резания.

### 1.6.5. Зубонарезание червячных колес

При нарезании червячных колес общим требованием является необходимость размещения при настройке оси фрезы в главной плоскости нарезаемого колеса, т. е. в плоскости, проходящей через его середину. Особенностью червячных фрез, используемых для нарезания червячных колес, является точное соответствие их основных размеров (диаметр фрезы, шаг, угол наклона винтовой линии) размерам червяка, с которым будет работать в паре обрабатываемое колесо. Выбор типа червячной фрезы зависит от вида профиля (архимедов, эвольвентный, конволютный) червяка, червячной передачи и от используемого метода фрезерования: с радиальным или тангенциальным движением подачи.

При фрезеровании с радиальным движением подачи (рисунок 1.52а) фрезе и заготовке сообщаются согласованные вращения, имитирующие червячную передачу и радиальное движение подачи  $D_{\text{срэд}}$  фрезы, продолжающееся до момента достижения межосевого эксплуатационного расстояния  $A$ . Расстояние, на которое фреза перемещается в радиальном направлении, устанавливают при наладке станка и ограничивают упором.

При фрезеровании с тангенциальным движением подачи постоянное межосевое расстояние  $A$  устанавливают перед обработкой и в последующем не изменяют. Заготовке и фрезе при обработке сообщаются согласованные вращение и тангенциальное движение подачи  $D_s$ . Так как червячная фреза совершает согласованное с заготовкой вращение и тангенциальное движение, заготовка выполняет дополнительный поворот  $\Delta D_{\text{скр}}$ . При нарезании зубчатых колес с тангенциальной подачей основная часть припуска снимается заборным конусом фрезы с  $\varphi = 20...25^\circ$  на длине 2-2,5 витков, а цилиндрическая (рисунок 1.52б) часть фрезы выполняет чистовую обработку, обеспечивая требуемые размеры колеса. Неизменность межосевого расстояния в процессе обработки, а также наличие на фрезе калибрующей части делает метод нарезания с тангенциальным движением подачи более точным, чем с радиальным движением.

В ремонтных цехах и единичном производстве для нарезания червячных колес используют однозубые фрезы – летучки, имеющие один режущий зуб, выполненный по профилю рейки и вставленный в оправку, которую закрепляют в шпинделе зубофрезерного станка (рисунок 1.52в).

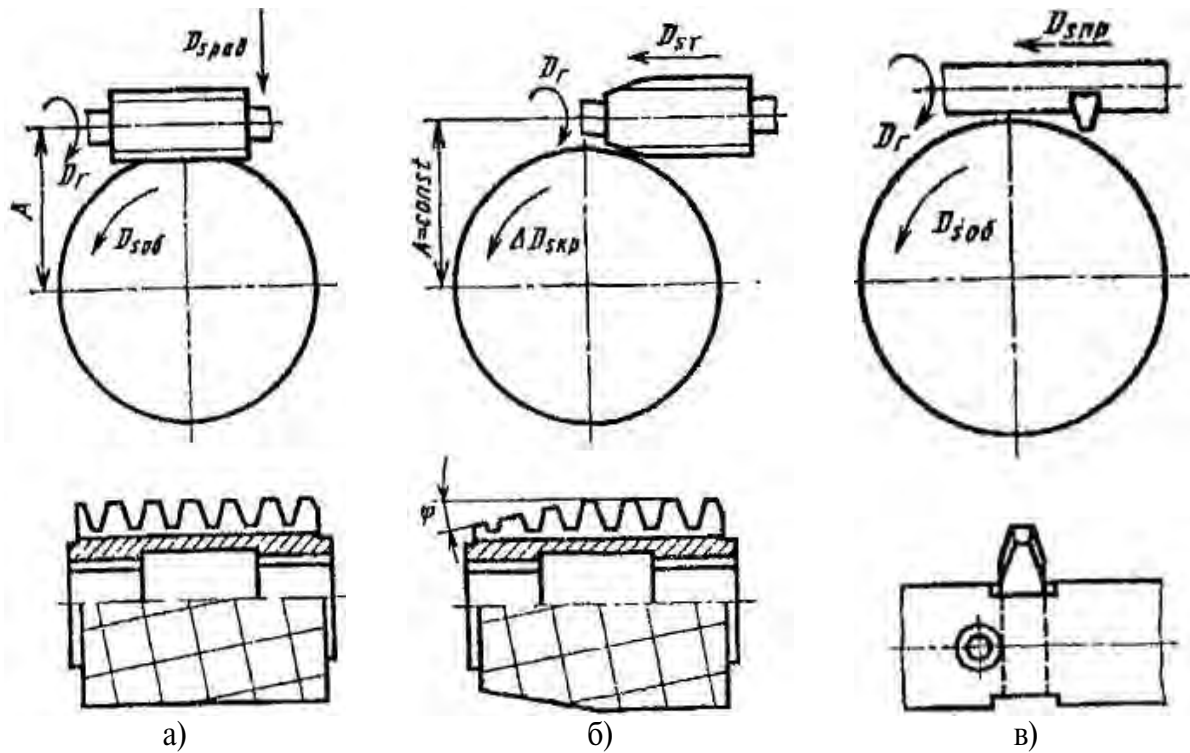


Рисунок 1.52 – Схемы обработки и инструменты для нарезания червячных колес

### 1.6.6. Зубонарезание конических колес

Их нарезают строганием по копиру, обработкой профильными инструментами или методами обката (наиболее широко), при которых имитируется зацепление нарезаемого колеса с воображаемым производящим (плоским или плосковершинным) колесом. При этом производящее колесо представляет собой два резца, совершающих возвратно-поступательное движение ( $D_r$ ) вдоль нарезаемого зуба и участвующих вместе с нарезаемым колесом в движении обката, имитирующем их зацепление (рисунок 1.53а). После нарезания одного зуба инструмент и заготовка благодаря повороту возвращаются в исходное положение затем следует делительный поворот заготовки на один зуб, после чего начинается обработка каждого зуба колеса.

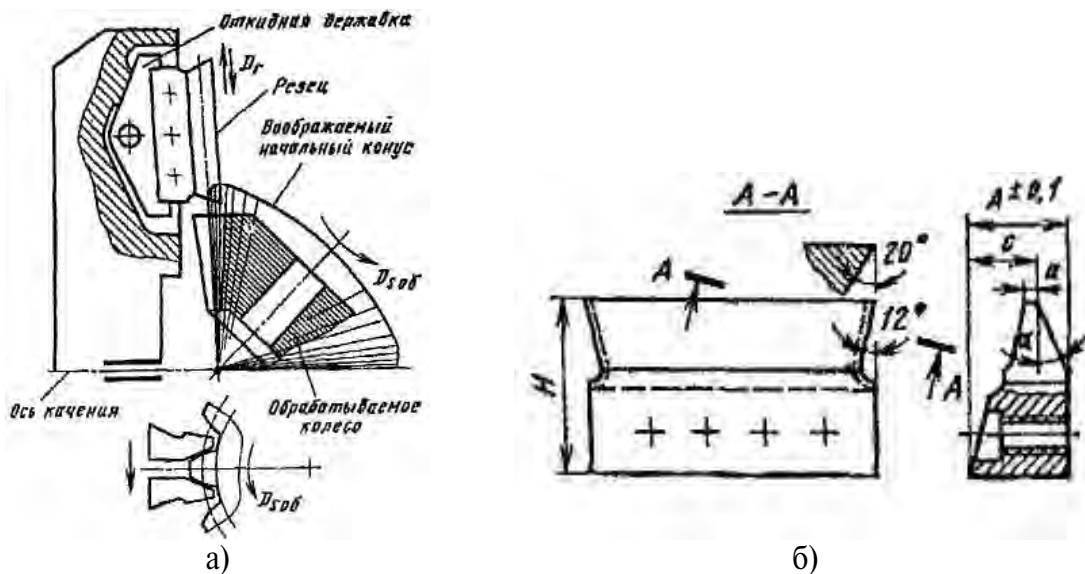


Рисунок 1.53 – Изготовление конических колёс:  
а – схема обработки; б – применяемый резец

Нарезание конических колес проводится за два рабочих хода - черновыми и чистовыми резцами.

В качестве инструмента используют строгальные резцы, которые при установке на станке, своими режущими кромками образуют как бы стороны зуба производящего колеса (рисунок 1.53б).

В крупносерийном производстве прямозубые конические колеса нарезают протягиванием. В качестве инструмента используют сборную круговую протяжку (рисунок 1.54), диаметр которой намного превышает диаметр обрабатываемой заготовки. На наружной круговой поверхности протяжки жестко закреплен набор резцов, режущие кромки которых ограничены дугами окружностей, проведенных из разных центров кривизны. За один цикл обработки, состоящий из черновых, получистовых и чистовых рабочих ходов, протяжка совершает один полный оборот и одно возвратно-поступательное перемещение вдоль нарезаемой впадины обрабатываемого зубчатого колеса. Черновые и получистовые рабочие ходы совершаются последовательно при поступательном движении вращающейся протяжки из точки *A* в точку *B*, а чистовые рабочие ходы - при обратном движении из точки *B* в точку *C*. При прохождении через рабочую зону участка протяжки, свободного от режущих зубьев, заготовка совершает делительный поворот на один зуб, после чего цикл обработки повторяется.

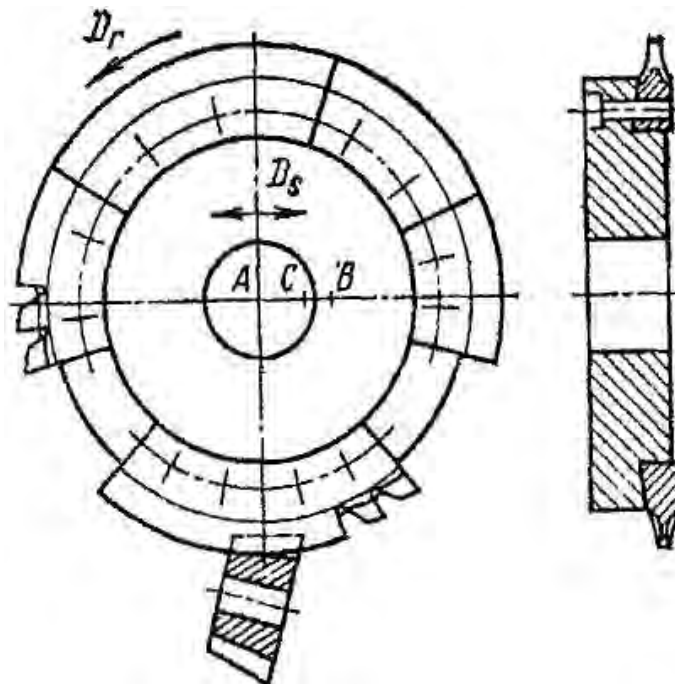


Рисунок 1.54 – Схема обработки конического прямозубого колеса фрезой-протяжкой

Конические колеса с криволинейными зубьями обрабатывают резцовыми головками по методу обката на специальных станках. В процессе обработки имитируется зацепление с воображаемым производящим (плоским) колесом (рисунок 1.55а), один зуб которого реально представлен режущими зубьями резцовой головки, используемой для прорезания впадины обрабатываемого колеса. Резцовая головка, вращающаяся с частотой  $n$ , установлена на поворачивающейся люльке, кинематически связанной с нарезаемым колесом. Согласованный поворот люльки и обрабатываемой заготовки позволяет резцовой головке нарезать одну впадину на обрабатываемом колесе. Завершив обработку впадины, резцовая головка с люлькой и заготовка отводятся в исходное положение, в котором заготовке сообщается делительный поворот на один угловой шаг зубьев, после чего включается движение обката и начинается нарезание следующей впадины. Резцы устанавливаются в пазы корпуса 1 головки (рисунок 1.55б) и закрепляются винтами 3. Для регулирования положения резцов 4 в пазах под каждым резцом

предусмотрена подкладка 5 и клин 2, регулируемый винтом 6.

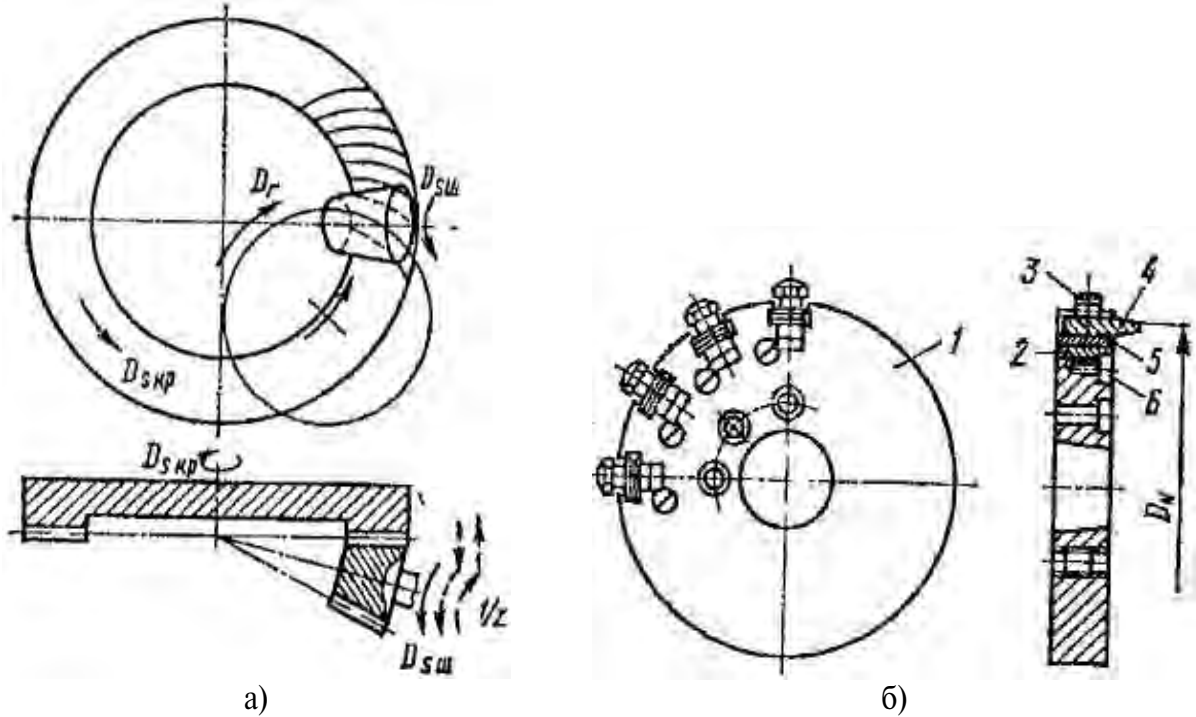


Рисунок 1.55 – Изготовление конического колеса с криволинейными зубьями:  
а - схема обработки; б - конструкция резцовой головки

### 1.6.7. Накатывание зубчатых колес

Зубчатый венец колеса получают пластическим деформированием металла в подогретом (в приборостроении используется редко) или холодном состоянии.

Основными методами холодного накатывания являются:

а) накатка штучных (индивидуальных) и длинных (групповых) заготовок двумя роликами-накатниками (рисунок 1.56а);

б) накатка заготовок тремя роликами (рисунок 1.56б).

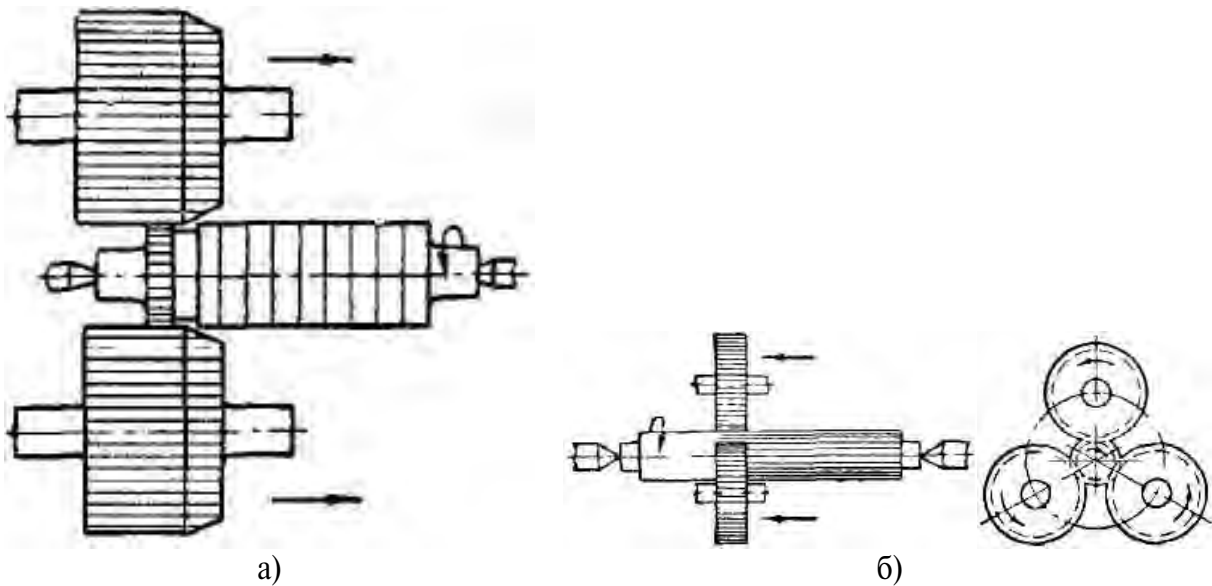


Рисунок 1.56 – Схема накатывания зубьев с применением продольной подачи

При накатывании колес рабочая поверхность зубьев инструмента является



производящей поверхностью профиля зубчатого венца.

Формообразование зубьев состоит из двух стадий. Сначала зубья накатника выдавливают материал заготовки, образуя впадины. Затем калибруется профиль зубчатого венца.

Производительность накатывания зубьев выше в 10-20 раз чем при зубофрезеровании. Зубья получаются более прочными.

Для накатывания можно использовать и обычные токарные станки.

### 1.6.8. Зубоотделочные операции

**Приработка** заключается в том, что два спаренных зубчатых колеса (рисунок 1.57) ставятся в приспособление и приводятся во вращение или прирабатываются непосредственно в механизме.

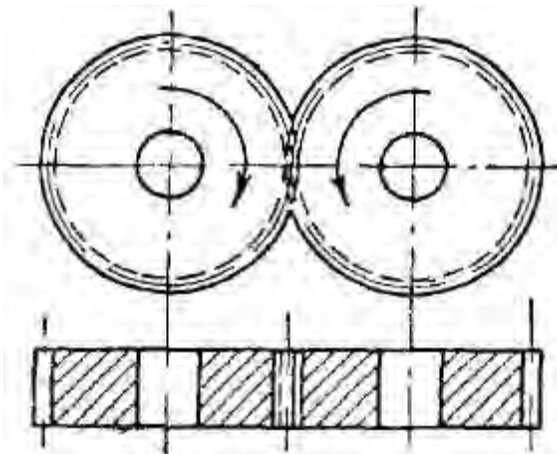


Рисунок 1.57 – Схема приработки зубьев

В результате улучшается качество поверхности зубьев, повышается плавность работы колес. Взаимозаменяемость деталей зубчатых зацеплений не обеспечивается.

При **шевинговании** незакаленных стальных зубчатых колес с боковой поверхности зуба соскабливается шевером волосообразная тонкая стружка. Шевингование обеспечивает высокую точность зубчатого венца при малой шероховатости поверхности зуба. Зубья отделяют шевером-рейкой, дисковым (наиболее часто) и червячным шеверами.

Дисковый шевер (рисунок 1.58) - зубчатое колесо, канавки на зубьях которого образуют режущие кромки. Шевер, получая принудительное вращение вокруг своей оси, наклоненной по отношению к оси шевингуемого колеса на угол  $\varphi$  в пределах  $10-15^\circ$ , приводит последнее во вращение и возвратно-поступательное перемещение (рисунок 1.59).

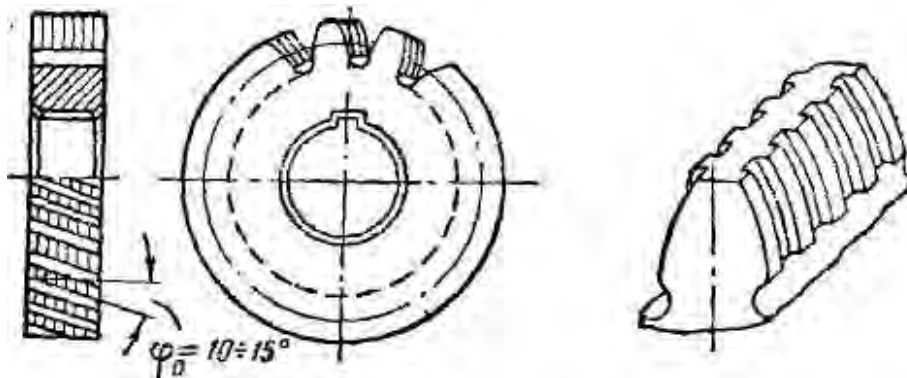


Рисунок 1.58 – Дисковый шевер

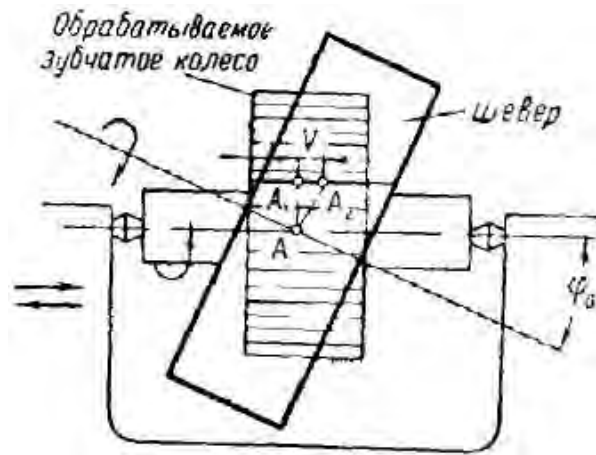


Рисунок 1.59 – Схема обработки зубчатого колеса дисковым шевром

Для получения относительного скольжения при обработке прямозубых колес необходимо иметь шевр с косыми зубьями, а при обработке косозубых колес - шевр с прямыми зубьями.

Дисковые шевры применяют для обработки колес с модулем от 2 до 8 мм.

**Притирка** заключается в обработке зубьев абразивом, нанесенным на притир из мелкозернистого чугуна.

При притирке (рисунок 1.60), происходит медленное вращение притира попеременно в разные стороны, вращение обрабатываемого колеса, быстрое возвратно-поступательное движение притира вверх и вниз и обрабатываемого колеса в радиальном направлении.

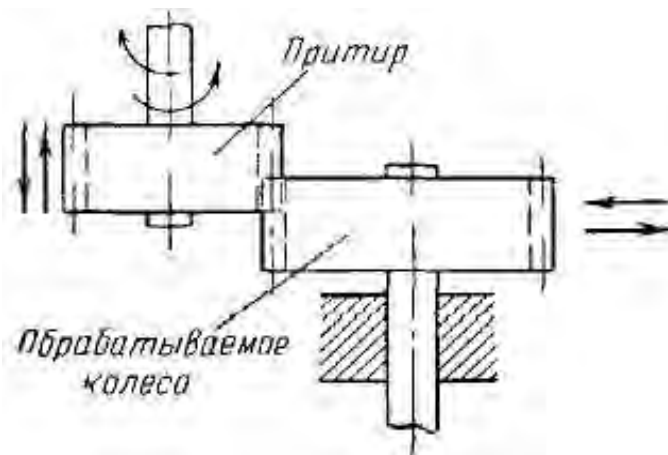


Рисунок 1.60 – Схема притирки зубьев одним притиром

Боковая поверхность зуба получается гладкой, зеркального блеска; ее качество более высокое, чем при шлифовании. Однако на поверхности зубьев остаются абразивные зерна, не удаляемые полностью при промывке, что служит причиной преждевременного износа зубчатых колес.

При **шлифовании** цилиндрических зубчатых колес используются методы копирования и обката. Шлифование по методу копирования проводится шлифовальным кругом, рабочие поверхности которого периодически правят для получения эвольвентного профиля (рис. 1.61, а). Одновременно с быстрым вращением (скорость резания) круг совершает движение подачи, направленное вдоль зуба. После обработки очередной впадины следует делительный поворот заготовки. Метод применяют в крупносерийном и массовом производстве.

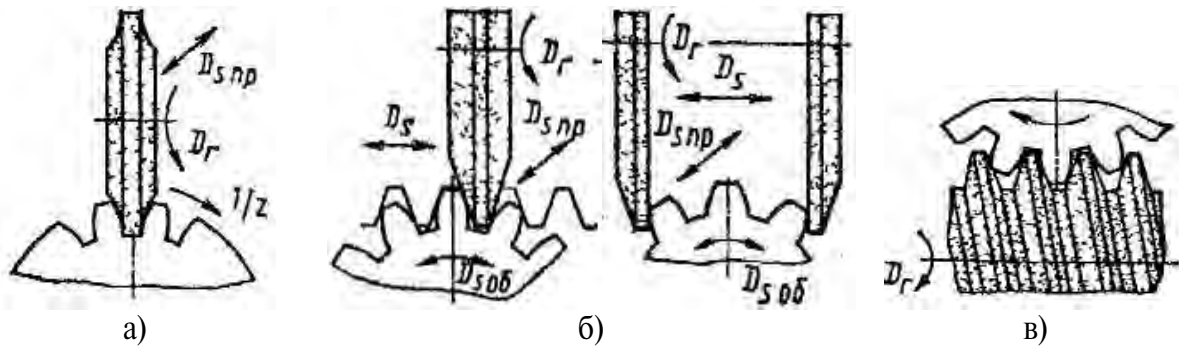


Рисунок 1.61 – Схемы зубошлифования

При зубошлифовании по методу обката в большинстве случаев имитируется зацепление обрабатываемого колеса с рейкой, реально представленной боковыми поверхностями шлифовальных кругов. При этом главным (рисунок 1.61б) движением является быстрое ( $V = 25-30$  м/с) вращение круга, а движение подачи обеспечивается возвратно-поступательным перемещением круга, кинематически связанным с реверсивным вращением колеса, а также перемещением круга вдоль зуба и его радиальным перемещением на заготовку.

Особое место занимает зубошлифование кругом в виде абразивного червяка (рисунок 1.61в), вращение которого согласовано с вращением обрабатываемого колеса и который одновременно совершает движение подачи вдоль зуба. Его применяют для обработки колес 5-6-й квалитета при производительности в 2-2,5 раза большей, чем у метода копирования.

Припуск, удаляемый при шлифовании, не превышает 0,15-0,80 мм на толщину зуба.

### 1.6.9. Штамповка зубчатых колес и плоских деталей с зубчатым сектором

Заготовка (рисунок 1.62) вырубается в штампах на эксцентриковых прессах с последующей правкой, затем производится ее зачистка, зенковка отверстия и обтачивание по наружному диаметру. Зубья нарезаются методом обката или копирования (более производительно).

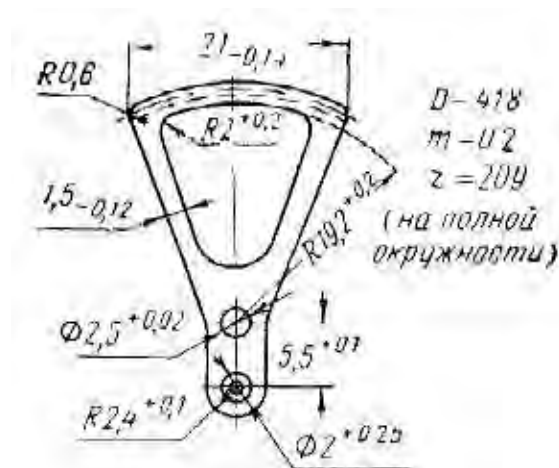


Рисунок 1.62 – Сектор

Некоторые зубчатые детали - сектора с удлиненным рычагом, у которых  $a > R$  (рисунок 1.63), сектора с недорезанными на краях зубьями, колеса с пропущенными зубьями - могут нарезаться только методом копирования.

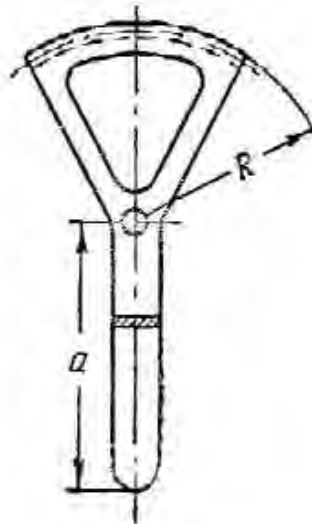


Рисунок 1.63 – Конструкция сектора, не позволяющая нарезать зубья методом обката

### 1.6.10. Типовой маршрут изготовления зубчатых колес

#### *005 Заготовительная.*

Для заготовок из проката - резка проката, для штампованных заготовок - штамповка.

Штампованные заготовки целесообразно выполнять с прошитыми отверстиями, если их диаметр более 30 мм и длина не более 3-х диаметров.

Заготовки из чугуна и цветных сплавов (иногда из сталей) получают литьем.

#### *010 Токарная.*

Точить торец обода и торец ступицы с одной стороны начерно, точить наружную поверхность обода до кулачков патрона начерно, расточить начерно на проход отверстие (или сверлить и расточить при отсутствии отверстия в заготовке), точить наружную поверхность ступицы начерно, точить фаски.

Технологическая база - наружная поверхность обода и торец, противоположный ступице (закрепление в кулачках токарного патрона).

Оборудование: единичное производство - токарно-винторезный станок; мелко- и среднесерийное - токарно-револьверный, токарный с ЧПУ; крупносерийное и массовое - одношпиндельный или многошпиндельный токарный полуавтомат (для заготовки из прутка - прутковый автомат).

#### *015 Токарная.*

Точить базовый торец обода (противолежащий ступице) начерно, точить наружную поверхность обода на оставшейся части начерно, расточить отверстие под шлифование, точить фаски.

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

Оборудование - то же (см. операцию 010).

#### *020 Протяжная (долбежная).*

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

Технологическая база - отверстие и базовый торец колеса.

Оборудование - горизонтально-протяжной или долбежной станки.

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

#### *025 Токарная.*

Точить базовый и противоположные торцы, наружную поверхность венца начисто.

Технологическая база - поверхность отверстия (реализуется напрессовкой на оправку, осевое положение на оправке фиксируется путем применения подкладных колец при запрессовке заготовки). Необходимость данной операции вызывается требованием обеспечения соосности поверхностей вращения колеса.

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

*030 Зубофрезерная.*

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

Технологическая база - отверстие и базовый торец (реализуется оправкой и упором в торец).

Оборудование - зубофрезерный полуавтомат.

*035 Зубофрезерная.*

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

*040 Шевинговальная.*

Шевинговальная операция повышает на единицу степень точности зубчатого колеса. Операции применяют для термообрабатываемых колес с целью уменьшения коробления зубьев, так как снимается поверхностный наклепанный слой после фрезерования.

Технологическая база - отверстие и базовый торец (реализуется оправкой).

Оборудование - зубошевинговальный станок.

*045 Термическая.*

Калить заготовку или зубья (ТВЧ) или цементировать, калить и отпустить - согласно техническим требованиям. Наличие упрочняющей термообработки, как правило, приводит к снижению точности колеса на одну единицу.

*050 Внутришлифовальная.*

Шлифовать отверстие и базовый торец за один установ. Обработка отверстия и торца за один установ обеспечивает их наибольшую перпендикулярность.

Технологическая база - рабочие эвольвентные поверхности зубьев (начальная окружность колеса) и торец, противоположный базовому. Реализация базирования осуществляется специальным патроном, у которого в качестве установочных элементов используют калибровочные ролики или зубчатые секторы.

Необходимость такого базирования вызвана требованием обеспечения равномерного съема металла с зубьев при их последующей отделке с базированием по отверстию на оправке.

Оборудование - внутришлифовальный станок.

При базировании колеса на данной операции за наружную поверхность венца для обеспечения соосности поверхностей вращения необходимо ввести перед или после термообработки круглошлифовальную операцию для шлифования наружной поверхности венца и торца, противоположащего базовому (желательно за один установ на оправке).

Технологическая база - отверстие и базовый торец.

Оборудование - круглошлифовальный или торцекруглошлифовальный станки.

Необходимость отделки наружной поверхности венца колеса часто вызывается также и тем, что контроль основных точностных параметров зубьев производится с использованием этой поверхности в качестве измерительной базы.

*055 Плоскошлифовальная.*

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

Технологическая база - базовый торец.

Оборудование - плоскошлифовальный станок с прямоугольным или круглым столом.

*060 Зубошлифовальная.*

Шлифовать зубья.

Технологическая база - отверстие и базовый торец.

Оборудование - зубошлифовальный станок (обработка обкаткой двумя тарельчатыми или червячным кругами или копированием фасонным кругом). При малом короблении зубьев при термообработке (например, при азотировании вместо цементации) операция

зубошлифования может быть заменена зубохонингованием или вообще отсутствовать.

Наличие зубошлифовальной или зубохонинговальной операции определяется наличием и величиной коробления зубьев при термообработке. Двукратное зубофрезерование и шевингование зубьев до термообработки может обеспечить 6-ю степень точности. При потере точности во время термообработки на одну степень конечная 7-я степень точности будет достигнута. Введение отделочной операции зубошлифования или зубохонингования необходимо только при уменьшении точности колеса при термообработке больше, чем на одну степень.

*065 Контрольная.*

Применяются варианты техпроцесса с однократным зубофрезерованием, но с двукратным зубошлифованием.

## 1.7. Изготовление пружин

### 1.7.1. Классификация, материалы и требования к пружинам

Винтовые пружины (рисунок 1.64) разделяют по форме (в основном на цилиндрические и конические) и характеру воспринимаемой нагрузки (пружины растяжения, сжатия и кручения).

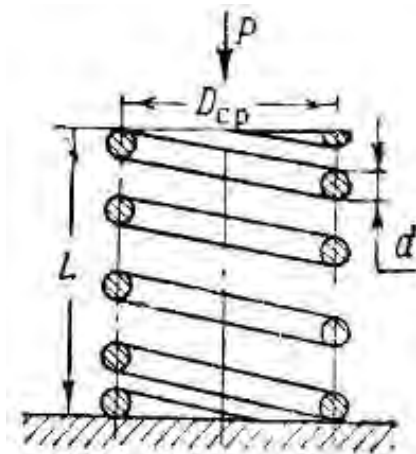


Рисунок 1.64 – Винтовая цилиндрическая пружина

С увеличением нагрузки растет деформация пружины (прогиб), называемый ходом пружины. Зависимость хода винтовой пружины от нагрузки называют ее характеристикой.

Отношение  $P/f$  называют жесткостью или постоянной пружины, где  $P$  - нагрузка пружины,  $f$  - величина ее хода.

Разность между максимальной и минимальной нагрузками  $P-P_0$  называется полезной нагрузкой. Этой разности соответствует рабочий ход пружины  $f_2$ .

Осевая сила  $P$  определяется по формуле

$$P = \frac{fGd^4}{8nD_{cp}^3}, \quad (1.7)$$

где  $f$  - деформация пружины в мм;

$G$  - модуль упругости материала проволоки при кручении в кГ/мм<sup>2</sup>;

$d$  - диаметр проволоки в мм;

$n$  - число рабочих витков.

Наибольшее влияние на осевую силу оказывают колебания диаметра проволоки.

Существуют два типа пружин - обычные и прецизионные (допуски на осевую силу  $P$  при заданной деформации  $f$  устанавливаются более жесткими).

По характеру действия пружины делят на работающие на сжатие (80%), растяжение (15-20%), сжатие и растяжение, кручение.

Пружины разделяются также по:

- 1) конструкции крепления (с оттянутыми концами или с плоскими торцами);
- 2) направлению навивки (правая или левая);
- 3) характеру навивки (плотная, навивка с шагом);
- 4) конструктивному оформлению торцов пружины, действующей на сжатие;
- 5) технологическому оформлению торцов (со шлифованными и нешлифованными торцовыми витками);

6) индексу  $c = D_{cp} / d$ ;

7) числу витков  $n$ ;

8) углу подъема витков  $\alpha$  ;

9) максимальной величине рабочей (осевой) деформации  $f$ .

Материал для пружин должен обладать высокой статической, динамической, ударной и усталостной прочностью, пластичностью и стабильностью упругих свойств во времени.

Поверхность пружин должна быть гладкой, без дефектов. Наличие обезуглероженного слоя понижает предел усталости.

Прецизионные витые пружины выполняются из легированной стали с содержанием 0,5-0,7% С.

Для пружин, работающих при больших напряжениях применяют кремнистую сталь.

Из цветных сплавов используются бронзы различных типов.

## 1.7.2. Изготовление винтовых пружин

Технологический процесс изготовления стальных пружин включает следующие операции:

- 1) испытание проволоки;
- 2) навивку заготовок;
- 3) разрезку на отдельные пружины (только при навивке на оправку);
- 4) шлифование торцовых опорных витков (для пружин сжатия) или загибку концов крепления (для пружин растяжения);
- 5) правку;
- 6) термическую обработку;
- 7) доводка (для точных пружин);
- 8) старение (заневоливание);
- 9) покрытие;
- 10) контроль.

### 1.7.2.1. Навивка заготовок пружин

Наиболее ответственная операция. Если пружины завиты с высокой степенью точности, то не требуется выполнять дополнительных операций (ручной правки, отрезки лишних витков и др.) перед шлифованием торцовых поверхностей.

Пружины навиваются на оправку и без оправки.

Навивка на оправку малопроизводительна и не обеспечивает высокой точности.

При новой партии проволоки диаметр оправки устанавливается навивкой пробных

пружин, что вызвано тем, что у пружины, снятой с оправки, из-за упругих свойств материала (в отдельных мотках проволоки разные) увеличивается диаметр, изменяется шаг и свободная длина.

Для получения поджатых витков ходовой винт токарного станка после навивки рабочих витков отключается. Чтобы число поджатых витков с каждой стороны пружины было постоянным, навивают лишние витки, которые затем обрубают или отрезают.

Наиболее эффективна безопрочная навивка прецизионных пружин на автоматах (рисунок 1.65).

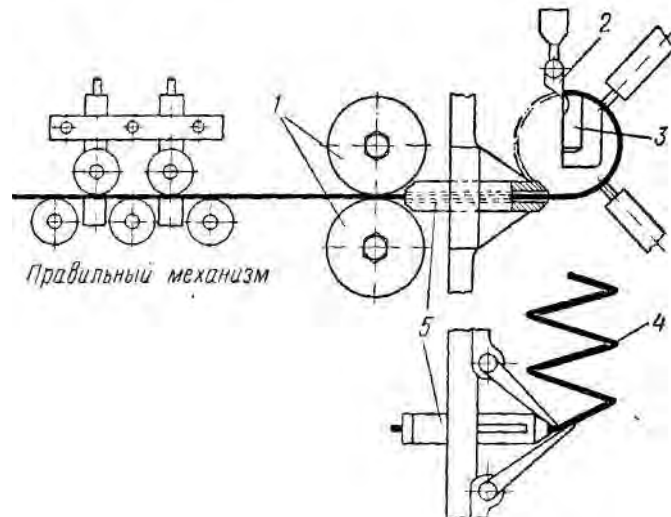


Рисунок 1.65 – Схема безопрочной навивки пружин на станке-автомате:  
1 – транспортирующие ролики; 2 – нож; 3 – поддержка; 4 – шаговые клыки; 5 – накладка

Автоматы выполняют следующие переходы:

- 1) сматывание проволоки с мотка, ее выпрямление и подачу;
  - 2) навивку;
  - 3) фиксацию заданного шага;
  - 4) прекращение подачи материала и отрезание изготовленной пружины.
- Затем пружины поступают на операцию шлифования торцов.

### 1.7.2.2. Шлифование торцов опорных витков

Торцы концевых нерабочих витков пружин сжатия шлифуются для создания плоских опорных поверхностей, перпендикулярных оси, что позволяет правильно устанавливать пружину в приборе и обеспечивает ее нормальную деформацию под действием нагрузки.

На данной операции выдерживают заданную чертежом свободную длину пружины, которая базируется в приспособлении по наружному диаметру и обрабатывается с двух сторон.

Станок имеет два электродвигателя, на осях которых посажены шлифовальные круги 1 и 2 (рисунок 1.66). Электродвигатель с кругом 2 монтируется на основании неподвижно, а электродвигатель с кругом 1 помещен на подвижных салазках, что и позволяет устанавливать необходимое расстояние между шлифовальными кругами. Обрабатываемые пружины вставляются в сменные втулки 3, которые устанавливаются в призмах подушки 4 и крепятся планкой 5. Подушка 4, прикрепленная к рейке, перемещается относительно кругов от зубчатого колеса.



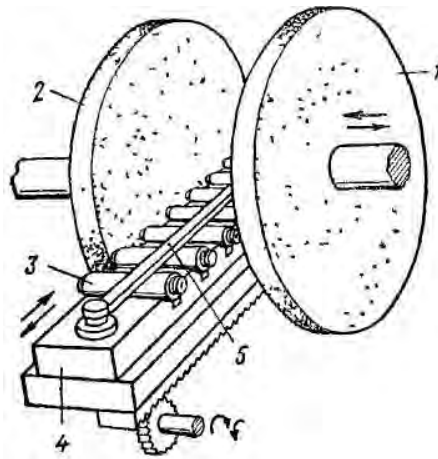


Рисунок 1.66 – Схема специального станка для двустороннего шлифования торцов пружин

### 1.7.2.3. Термическая обработка

Для постоянства характеристики пружины и повышения предела упругости ее материала после механических операций проводят кратковременный отпуск, не вызывающий структурных изменений.

Чистые сухие пружины в корзинке погружаются в селитровую ванну. После необходимой выдержки корзинка вынимается, встряхивается и погружается в кипящий содовый раствор для промывки.

Пружины прополаскиваются в горячей воде и после встряхивания погружаются в горячее масло при 80-100° С на 1-2 мин для удаления капелек воды.

Затем пружины погружаются в холодное масло, после чего направляются на покрытие, снятие характеристик или сборку.

### 1.7.2.4. Доводка осевой силы и старение пружины

Осевая сила доводится до требуемой величины электрополированием или шлифованием ее торцов в свободном состоянии.

Свойства пружин стабилизируются искусственным старением (механической раскачкой). Ее можно заменить сжатием пружины (заневоливанием) на величину, при которой появляется напряжение, превышающее предел упругости. Время сжатия от 2 до 24 час.

Время уменьшается, если операцию выполнять при 120° С (сжатые пружины опускаются в нагретое масло).

### 1.7.3. Производство плоских спиральных пружин (волосков)

Такая пружина предназначена для создания противодействующего момента, который уравнивает вращающий момент подвижной части прибора.

Из-за производственных погрешностей, неоднородности свойств материала действительная зависимость момента спиральной пружины от угла закручивания отличается от теоретической (рисунок 1.67).

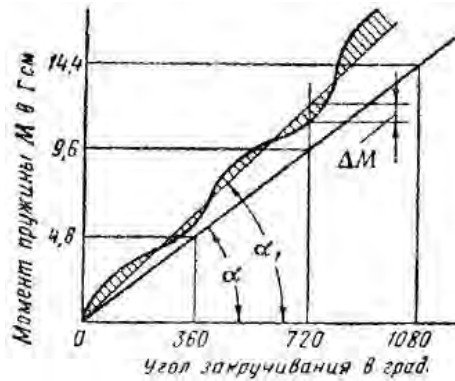


Рисунок 1.67 – Зависимость момента спиральной пружины от угла закручивания

Основными операциями изготовления спиральных пружин являются: прокатка лент, навивка, термообработка и стабилизация.

### 1.7.3.1. Прокатка лент

Заготовкой для ленты служит проволока. Если применяется бериллиевая бронза, то проволока перед прокаткой закаливается в защитной среде, для предупреждения выгорания бериллия и образования окалины.

Аммиак из баллона 1 (рисунок 1.68) поступает в змеевик диссоциатора 2, откуда продукты диссоциации аммиака через охладитель 3 по шлангу и металлической трубке поступают в камеру 4. Эта камера, во внутреннее отделение которой закладываются мотки закаливаемой проволоки, помещается в печь 5. После нагрева камера подводится к поверхности воды и приводится в вертикальное положение. Крышка под действием груза открывается и мотки проволоки падают в бак 6 с водой.

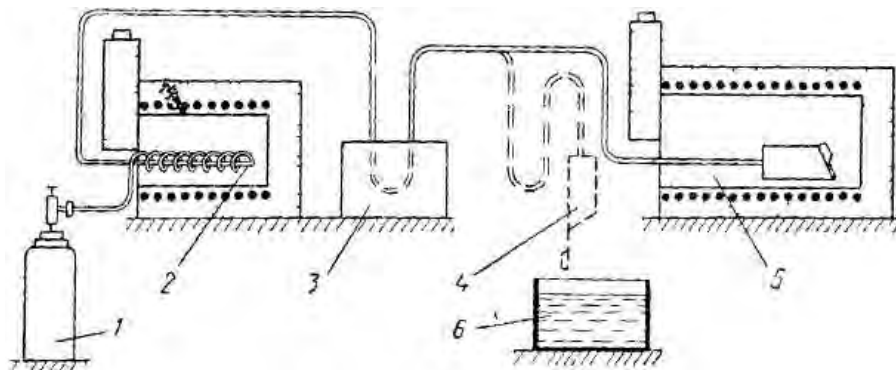


Рисунок 1.68 – Схема установки для закалки проволоки

### 1.7.3.2. Навивка спиральных пружин

Пружины навиваются на оправках в приспособлениях с ручным или механическим приводом.

Вращение от маховика (рисунок 1.69) передается через пару конических зубчатых колес 1 ведущему валу 2, от которого через шарик 3 тарировочного устройства вращается ведомый вал 4. Тарировочное устройство имеет шарик, винт и спиральную цилиндрическую пружину, обеспечивающую определенный натяг шарика. Приспособление имеет набор цилиндрических пружин различной жесткости.

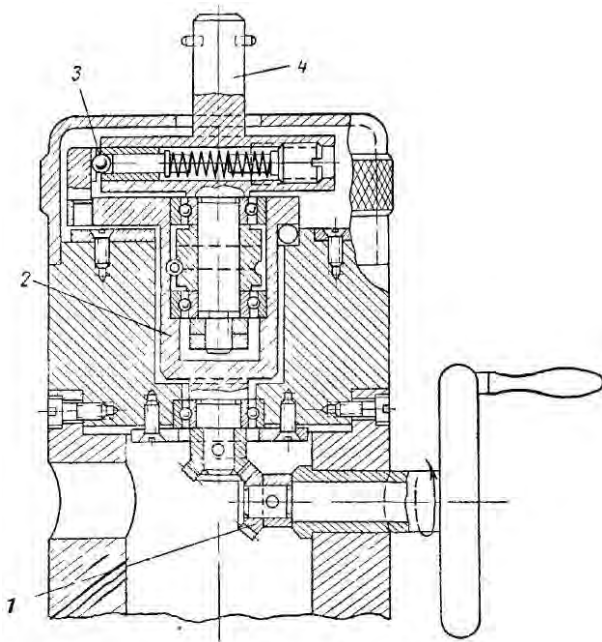


Рисунок 1.69 – Приспособление с ручным приводом

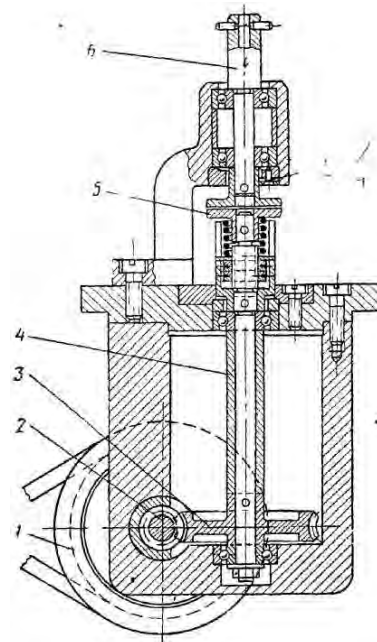


Рисунок 1.70 – Приспособление с механическим приводом

Вращение электродвигателя приспособления с механическим приводом (рисунок 1.70) передается ведущему валу 4 через шкив 1, червяк 2 и червячное колесо 3. От ведущего вала через фрикционное устройство 5 вращается ведомый вал 6.

Форма и размеры изготавливаемой пружины зависят от формы оправок (рисунок 1.71) и сопрягаемых с ними кассет. Оправка состоит из втулки 1, оси оправки 5, диска 3, кассеты 4 и стопорного винта 2.

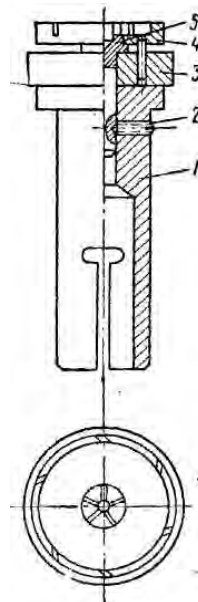


Рисунок 1.71 – Оправка для наливки плоских спиральных пружин

При наливке пружин применяются кассеты с прорезями для лент. Количество прорезей определяется числом навиваемых лент. Каждая лента закладывается в свой паз оправки и кассеты.

При вращении ручки или маховика кассета остается неподвижной и поворачивается лишь оправка, вокруг которой закручивается пучок лент (рисунок 1.72).

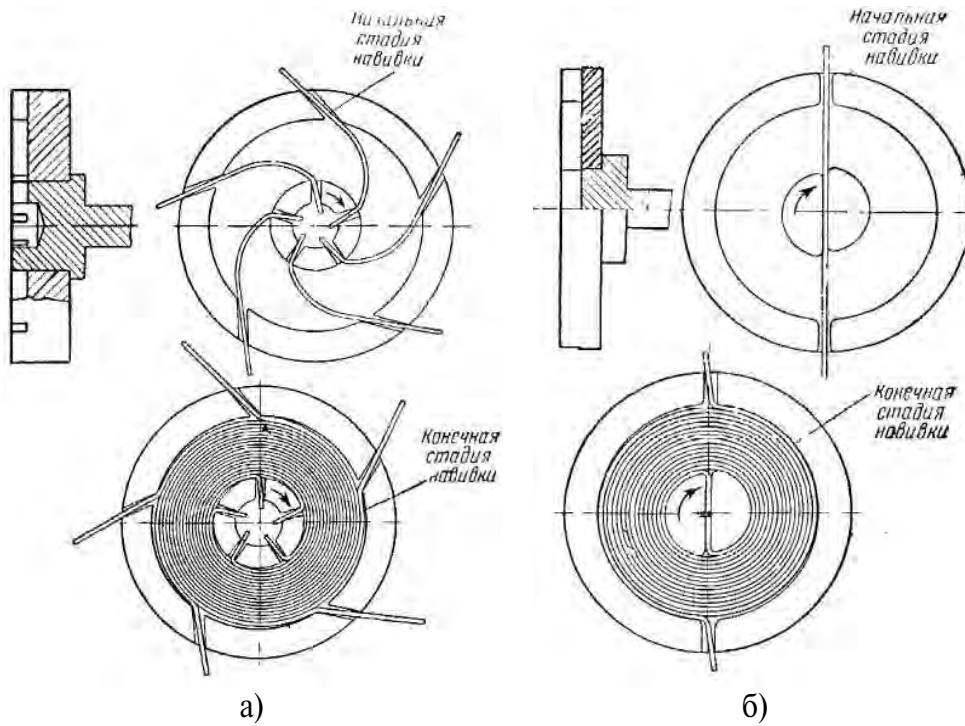


Рисунок 1.72 – Начальная и конечная стадии процесса навивания пружин в кассете:  
а – лучеобразная навивка; б – пучкообразная навивка

### 1.7.3.3. Термическая обработка спиральных пружин

Навивка заканчивается снятием кассет с навивочного приспособления. Из-за волочения и прокатки необходимо закрепление спиральной формы ленты термической обработкой в кассете. В процессе термической обработки (фиксации) устраняются также внутренние напряжения, чем уменьшаются гистерезис и остаточная деформация пружины.

Изделия из оловянно-цинковой бронзы БрОЦ4-3 фиксируются при  $320^{\circ}\text{C}$ , а из бериллиевой бронзы БрБ2 - при  $400^{\circ}\text{C}$ .

Подготовленные кассеты с навитыми в них пружинами укладываются в специальную гильзу-обойму (рисунок 1.73а). Гильза закладывается в патрон (рисунок 1.73б), плотно заворачивается крышкой и загружается в печь и выдерживается в течение 50-60 мин.



Рисунок 1.73 – Приспособления для термической обработки

После окончания фиксации патроны вынимаются из печи и охлаждаются на воздухе. Для обеспечения заданного диаметра от пружины отрезается часть витка.

## 1.8. Изготовление циферблатов и шкал

### 1.8.1. Основные требования

Шкалы- детали (пластинки, диски или кольца) с нанесенными на них линейными или угловыми делениями (штрихами) с соответствующими цифровыми и буквенными обозначениями.

Основными характеристиками угловых шкал являются:

- наименьший угловой интервал между смежными штрихами;
- начальный радиус шкалы, взятый по внешнему или внутреннему краю штрихов;
- длина штрихов;
- ширина (толщина) штрихов.

Шкалы делят на грубые, средней точности и точные.

Чем точнее шкала, тем меньше интервалы между ее соседними штрихами и тем они тоньше.

### 1.8.2. Способы получения заготовок

Заготовки для плоских шкал получают вырубкой в простых и комбинированных штампах из листового материала, а для цилиндрических и конических - вырубкой и вытяжкой на прессах двойного действия или в комбинированных штампах на простых эксцентриковых прессах из листового материала или из трубы ее механической обработкой.

Применение комбинированных штампов позволяет увеличить точность взаимного расположения контура и отверстий шкалы.

Заготовки цилиндрических и конических шкал вытягиваются в штампах.

После вытяжки производят обрезку дна на токарном станке или в штампе на прессе.

Вспомогательными операциями (чисткой, промывкой, правкой и т. п.) обеспечиваются однородность и чистота поверхности шкалы.

### 1.8.3. Методы механического нанесения штрихов и знаков

Штрихи наносятся штихелями (резцами или фрезами) на делительных машинах с поступательным движением для обработки резцами и гравировальных станках с вращательным движением для обработки фрезами.

**Нанесение штриха резцом.** Заготовку шкалы устанавливают на оправку, которая закрепляется в шпинделе делительного приспособления.

Для конических и цилиндрических шкал используют разжимные оправки; для плоских шкал - оправку с конической втулкой (рисунок 1.74).

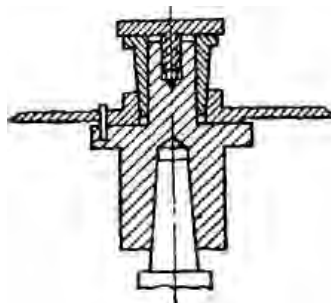


Рисунок 1.74 – Оправка для установки плоских шкал

Для нанесения первого штриха на заготовке обычно делают предварительную отметку. Штрихи наносят резцами из быстрорежущей стали сечением 8X8 или 6X6 мм и длиной 100 мм (рисунок 1.75). Ширину режущей кромки  $a$  берут на 20% меньше требуемой ширины штриха. Чтобы на шкалах лучше держалась краска наносят штрих прямоугольного сечения (рисунок 1.766).

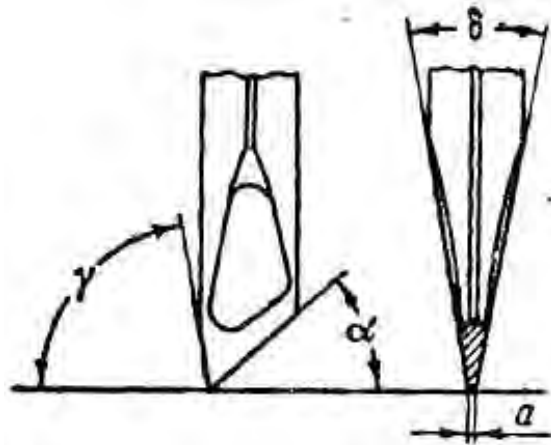


Рисунок 1.75 – Резец для нанесения штрихов



Рисунок 1.76 – Профили штрихов:  
а – треугольный; б – прямоугольный

**Нанесение штриха фрезой.** Из-за незначительной ширины гравирования (не более 2 мм) и малого диаметра режущей части фрезы для достижения рекомендуемых скоростей резания необходимо большое число оборотов шпинделя, что усложняет конструкцию бабки станка.

Если надо точно выдержать глубину гравирования, применяют ограничитель хода (рисунок 1.77). Со шпинделем связан рычажок 1, нижний конец которого имеет полусферическую форму. Рычажок устанавливается так, чтобы его полусферическая часть коснулась поверхности обрабатываемой детали по достижении штихелем 2 заданной глубины.

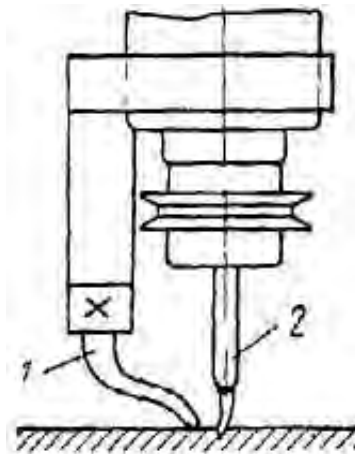


Рисунок 1.77 – Схема работы штихеля совместно с ограничителем хода

Профиль штихеля имеет различные формы в зависимости от назначения и характера работы резцов (рисунок 1.78а) или фрез (рисунок 1.78б).

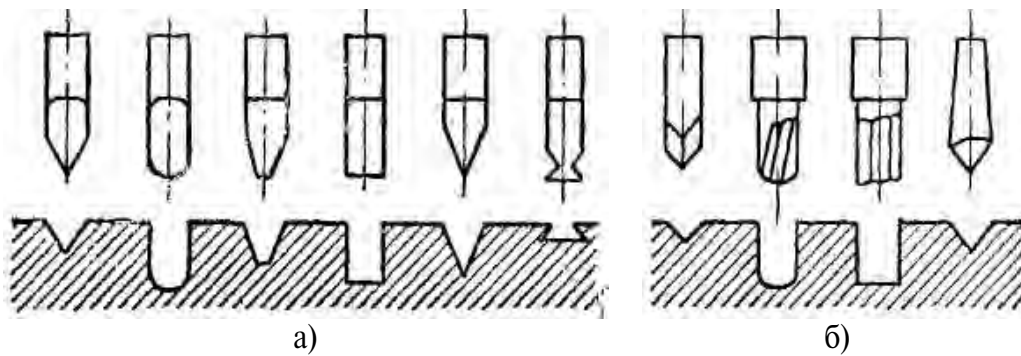


Рисунок 1.78 – Профили режущей части штихелей и сечения штрихов, выполняемых ими

### 1.8.3.1. Оцифровка шкал

Цифры и буквы шкал гравированы на станках, работающих по принципу пантографа с применением набора шаблонов.

Гравирование выполняют на плоской, цилиндрической или конической поверхностях. В первом случае, кроме шаблонов, каких-либо специальных приспособлений не требуется. Для массового производства изготавливают шаблоны, дающие изображения полностью. При серийном производстве шаблоны состояются из стандартных букв и цифр.

Их изготавливают из стали и некоторых сортов латуни, а специальные - из легкообрабатываемых сплавов свинца и олова.

При толщине штриха свыше 0,1 мм применяют пантограф, в котором фреза грузом прижимается к обрабатываемой поверхности. В два-три прохода можно получить штрих шириной 0,3-0,4 мм.

### 1.8.4. Рельефная штамповка и набивка

Перед рельефной штамповкой у вырубленной заготовки снимаются заусенцы, она правится и обрабатывается на пескоструйном аппарате. Поверхность заготовки становится ровной и матовой, поэтому штрих получается чистым. Пескоструйная обработка также способствует сцеплению (адгезии) наносимых покрытий с поверхностью шкалы.

Бункер 1 (рисунок 1.79) наполняют просеянным и просушенным кварцевым песком, который поступает вниз через регулируемое заслонкой 2 отверстие; к нему через насадку 3 подводится сжатый воздух под давлением 2-3 атм. Песок, распыляясь в струе сжатого воздуха, с большой скоростью ударяется о поверхность шкалы 4 и делает ее ровной и матовой. Чтобы шкала не прогибалась под действием струи, она лежит на плоском твердом основании 5, устанавливаемом на ленту транспортера 6. Отработанный песок падает в расположенный внизу ящик 7, из которого по мере накопления его выгружают, просеивают и вновь загружают в бункер.

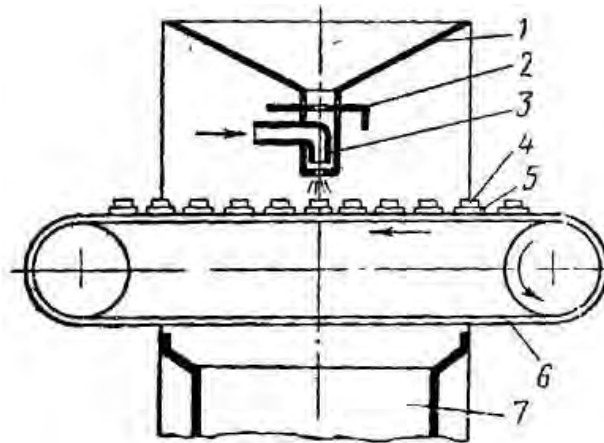


Рисунок 1.79 – Схема пескоструйного аппарата

Вместо песка иногда применяют более стойкую мелкую стальную или чугунную дробь.

В ряде случаев пескоструйную обработку поверхности заготовок шкал заменяют химической (травлением, промывкой и сушкой).

Штамповка обычно осуществляется на эксцентриковых, а также на малых гидравлических прессах (рисунок 1.80).

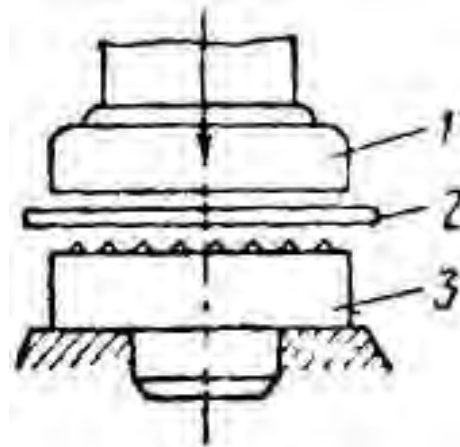


Рисунок 1.80 – Схема рельефной штамповки при изготовлении шкал

Заготовку шкалы 2 укладывают на матрицу 3 (клише), установленную на столе пресса. При рабочем ходе пресса гладкий пуансон 1 прижимает к матрице заготовку шкалы, которая при этом получает рельеф, соответствующий клише.

Недостатком штамповки является невозможность получения острых углов штриха, что ухудшает условия удержания краски.

### 1.8.5. Изготовление шкал фотографированием

Применяют в массовом и крупносерийном производстве в двух разновидностях: фототравление и фотопечатание.

Фототравление включает четыре операции:

- 1) нанесение на поверхность заготовки светочувствительного кислотоупорного слоя;
- 2) нанесение на кислотоупорный слой рисунка шкалы фотографированием с предварительно изготовленного негатива с последующим растворением кислотоупорного слоя, соответствующего рисунку шкалы;

- 3) травление кислотой материала, не защищенного кислотоупорным слоем, чем достигается нанесение рисунка требуемой глубины;



4) отделку шкалы (удаление кислотоупорного слоя, нейтрализацию кислотных остатков, чистку, промывку, окраску цифр и знаков).

Фототравлением можно изготавливать шкалы не только на металлах, но и на чистом стекле; стекле, покрытом металлом; целлулоиде; пластмассах различного вида.

По производительности фототравление мало уступает тиснению с клише; его преимуществом является возможность изготовления шкал из различных материалов без затрат на специальную технологическую оснастку.

Недостатком фототравления является получение штриха с неровными краями при глубоком травлении. При длительном действии кислоты будет разрушаться слой покрытия по контуру рисунка.

Фотопечатаение применяется при изготовлении алюминиевых шкал и не имеет недостатков, присущих фототравлению. На полированную поверхность заготовки шкалы наносят светочувствительную эмульсию, на которую с негатива печатают нужное изображение. Для проявления шкалы погружают в раствор черной анилиновой краски. В результате проявления эмульсия в местах делений и знаков растворяется, алюминий обнажается белым цветом, а фон шкалы становится черным.

## 1.9. Изготовление платин и мостов

### 1.9.1. Основные требования

Платинки и мостики представляют собой основания (рисунок 1.81), на которых монтируют механизмы ряда приборов. Платинки имеют опоры (или отверстия, являющиеся опорами) для осей, валов, трибок, а также опорные поверхности для крепления различных деталей и узлов.

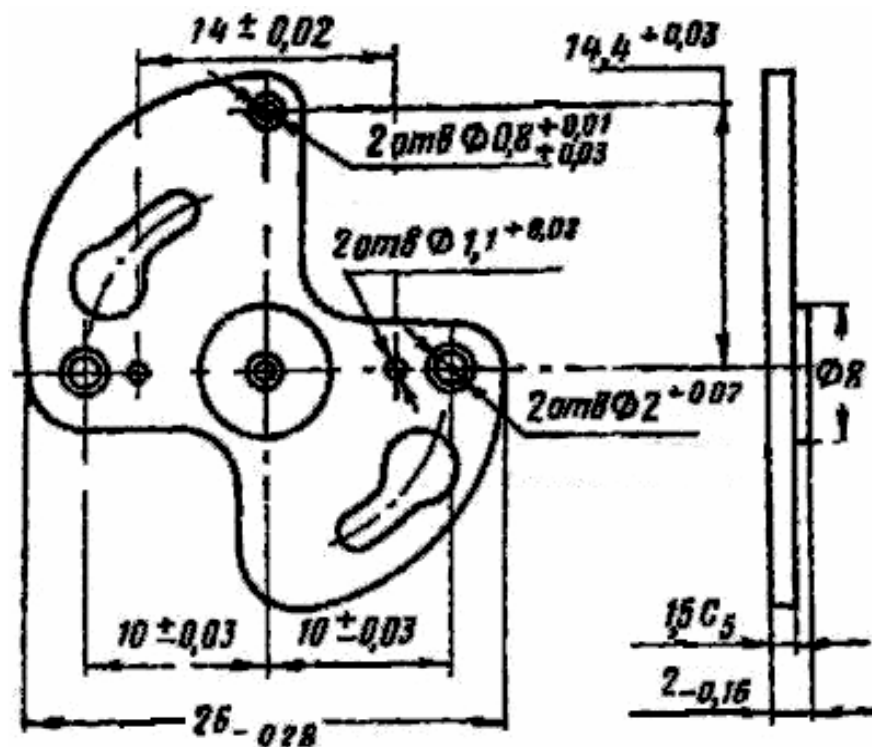


Рисунок 1.81 – Платинка

Основными технологическими задачами при изготовлении платинок являются получение правильной плоскости и отверстий, соответствующих требованиям чертежа по

расположению друг относительно друга, перпендикулярности к основной плоскости и размерам.

Если валы вращаются непосредственно в отверстиях платинки, материал должен обладать минимальным коэффициентом трения и быть стойким против коррозии. Поэтому обычно применяют латунь ЛС59.

Если подшипники изготавливаются отдельно и затем запрессовываются в платинку, то применяют алюминиевые сплавы, пластмассы и др.

### 1.9.2. Заготовки

Заготовки для платинок получают:

- 1) вырубкой из листового материала;
- 2) литьем под давлением и в кокиль;
- 3) горячей штамповкой;
- 4) прессованием из пластмасс.

Наиболее распространена вырубка из листового материала с последующей термообработкой для снятия внутренних напряжений. Для получения чистой поверхности и хорошего внешнего вида заготовки после термообработки травят, а для обеспечения ровной поверхности правят в штампах.

### 1.9.3. Методы обработки плоскостей

Основными методами обработки плоскостей платинок являются протачивание, фрезерование и шлифование.

Иногда для получения ровной и чистой опорной плоскости под торец оси или вала плоскость обрабатывают только на участке, непосредственно расположенном около отверстия (рисунок 1.82), выполняя для этого зенкование.

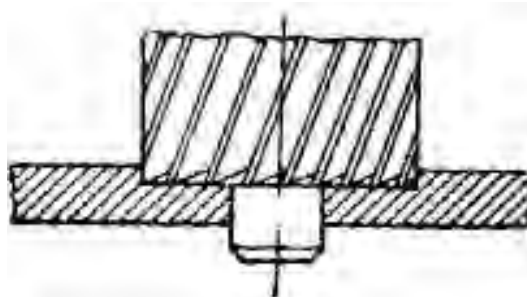


Рисунок 1.82 – Обработка опорной плоскости в платинке под торец оси

### 1.9.4. Методы обработки отверстий

Наиболее ответственной операцией при изготовлении платинок является получение отверстий, точно расположенных друг относительно друга, соосных и перпендикулярных к плоскости.

При изготовлении платинок отверстия могут быть получены: сверлением в кондукторе, пробиванием в штампе, накерниванием штампом с последующим сверлением по кернам без кондуктора и калибровкой в штампе, сверлением и расточкой по координатам и сверлением по методу установочных шаблонов.

### 1.9.4.1. Сверление в кондукторе

При этом наиболее распространенном способе точность зависит от правильности расположения кондукторных втулок относительно друг друга и базы, а также точности направления сверла во втулке.

Производительность при сверлении платинок зависит от конструкции кондуктора и типа станка. Применение быстродействующих зажимов и многошпиндельных головок повышает производительность обработки.

Большое значение имеет соблюдение соосности отверстий верхней и нижней платинок. Поэтому рекомендуется сверлить платинки в собранном виде. Схемы кондукторов для сверления собранных платинок показаны на рисунке 1.83.

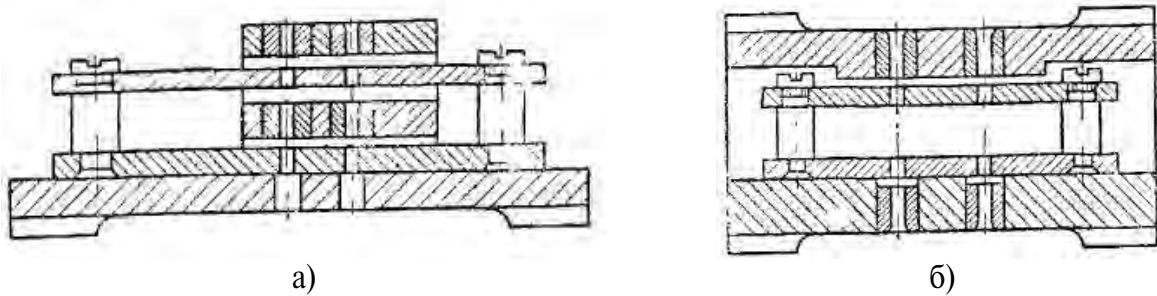


Рисунок 1.83 – Кондуктор для сверления платинок в собранном виде:  
а – односторонний; б – двусторонний

Этот способ не обеспечивает взаимозаменяемости (в прибор могут ставиться только спаренные платинки, что вызывает необходимость их совместного хранения) и является малопродуктивным.

### 1.9.4.2. Пробивание отверстий в штампе

Весьма производительно, но применяется в приборостроении редко из-за высокой стоимости штампа, частых поломок пуансонов и получающегося рваного края отверстия.

### 1.9.4.3. Сверление по координатам

Осуществляется на координатно-сверлильных станках и обеспечивает наивысшую точность расстояния между осями отверстий (до 0,002 мм). Из-за малой производительности применяется при изготовлении небольших серий деталей с высокой точностью расположения отверстий.

Обработка отверстий большого диаметра осуществляется резцом, закрепленным в специальном шпиндельном патроне. Он позволяет при помощи микрометрического винта установить резец на требуемый размер. При изготовлении отверстий диаметром менее 3 мм ограничиваются сверлением. Чтобы уменьшить смещение из-за деформации сверла, отверстие предварительно центруется.

### 1.9.4.4. Сверление по установочным шаблонам

Применяется когда требуется выдержать расположение отверстий более точно, чем при сверлении в кондукторе. Оно менее точно, чем обработка на координатно-сверлильном станке, но производительнее и дешевле, так как выполняется на токарном станке и не требует изготовления дорогой технологической оснастки.

Деталь, подлежащая обработке, скрепляется со специальным шаблоном 1 (рисунок 1.84)

при помощи резьбового кольца 4 и крышек 3 и 5. Шаблон 1 представляет собой закаленную шлифованную плиту с отверстиями, расположение которых соответствует требуемому у обрабатываемой детали. На координатно-сверлильном станке в шаблоне с допуском 0,001-0,003 мм изготавливаются отверстия. Шаблон 1 со скрепленной вместе с ним деталью надевается одним из отверстий, расположенным против того места, где должно быть просверлено отверстие в детали, на отшлифованный закаленный палец 2, впрыснутый в планшайбу, навинченную на шпиндель. Крышка 5 закрепляется на планшайбе прихватами.

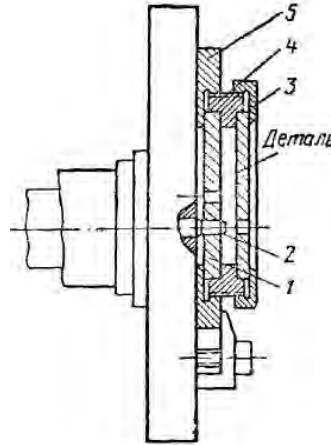


Рисунок 1.84 – Схема приспособления для сверления по установочным шаблонам

Сверление и растачивание осуществляется инструментами, закрепленными в задней бабке станка. Просверлив одно отверстие, освобождают прихваты и, не развинчивая крышек 3 и 5, надевают шаблон на палец 2 следующим отверстием.

При сверлении по установочным шаблонам достигается высокая точность, так как ось отверстия совпадает с осью вращения шпинделя. Палец, на который надевается шаблон, обрабатывается на месте, чем достигается его соосность с линией центров станка. Посадочный диаметр пальца точно пригоняется по отверстиям шаблона.

#### 1.9.4.5. Сверление отверстий по кернам

Применяется в крупносерийном и массовом производствах. Деталь, размеченная керновочным штампом обрабатывается без кондуктора, что повышает производительность. При кернении платинка одной стороной опирается на плиту, а с другой стороны к ней подходят керн-пуансоны, расположенные по координатам будущих отверстий. Погружаясь в платинку, керн-пуансоны штампуют конусные углубления (лунки) для направления сверла. Из-за вытеснения материала на поверхности платинки образуется буртик. Если лунка расположена близко к контуру платинки, то на ее боковой поверхности также может образоваться вспученность.

Если диаметр лунки меньше диаметра сверла, то оно вначале будет направляться режущими кромками по кромке основания конуса лунки (рисунок 1.85а). Вспученность, полученная при кернении, будет удалена, для чего рекомендуется размеры лунок под сверла диаметром от 1 до 3 мм делать меньше на величину 0,2-0,8 мм. Если размеры лунки больше диаметра сверла (рисунок 1.85б), то сверло направляется точками сопряжения своих нижних и боковых режущих граней, что придает ему большую устойчивость в начале резания. Т.к. вспученность уже не удаляется, для этого приходится вводить специальную операцию. Можно (рисунок 1.85в) в лунке получить небольшую цилиндрическую часть, обеспечивающую более точное направление сверла, но это требует большего усилия при кернении и приводит к возрастанию вспученности. Поэтому такие лунки могут быть получены только для размеров до 1,5 мм и отверстий, расположенных далеко от контура.



Рисунок 1.85 – Форма лунок и сверл

При этом угол кернения должен быть меньше угла при вершине сверла, что обеспечивает лучшее его направление, чем при обратном соотношении (рисунок 1.85г). По точности этот способ при толщине платинок до 3 мм не уступает обработке в кондукторах и он экономичнее и производительнее.

#### 1.9.4.6. Калибрование отверстий в штампе

Представляет собой окончательную операцию и устраняет погрешности предварительной обработки как отверстий, так и расстояний между их осями. При этом обеспечивается точность диаметров отверстий 0,01-0,03 мм и 0,005-0,02 мм расстояний между осями.

Отверстия предварительно сверлятся или пробиваются в штампе, причем оставляется небольшой припуск. Пуансоны калибровочных штампов работают без сопряженных режущих кромок, так как усилия малы и нет опасности прогиба детали. Матрицей служит установочная плита с укрепленными на ней фиксирующими штифтами и небольшими углублениями для выхода пуансонов и стружки.

Калибровочные штампы применяются в крупносерийном и массовом производстве.

Калибрование сильно уменьшает шероховатость поверхности отверстий.

### 1.10. Изготовление упругих чувствительных элементов

На рисунке 1.86 показаны схемы приборов с различными чувствительными элементами.

В зависимости от конструкции чувствительными элементами могут быть:

- 1) мембраны (рисунок 1.86а, б) и мембранные коробки (рисунок 1.86в, г);
- 2) меха, сильфоны (рисунок 1.86д, е);
- 3) манометрические трубки (рисунок 1.86ж, з).

Чувствительные элементы подразделяются на две группы:

- 1) анероидные (рисунок 1.86г, е, з);
- 2) манометрические (рисунок 1.86а, б, в, д, ж).

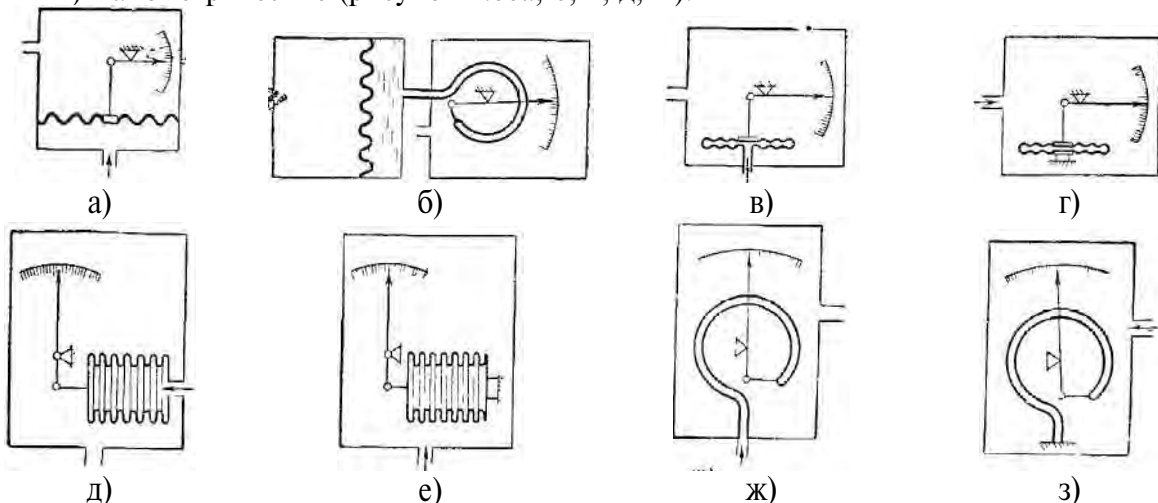


Рисунок 1.86 – Схемы приборов с различными чувствительными элементами

### 1.10.1. Мембраны и мембранные коробки

Мембраной называется тонкостенная круглая пластинка с концентрически нанесенными волнообразными складками (рисунок 1.87).

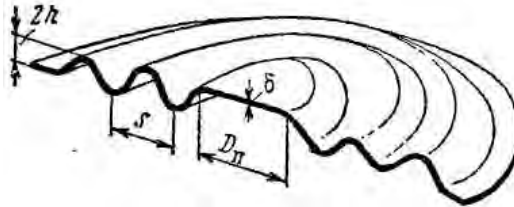


Рисунок 1.87 – Общий вид мембраны в разрезе:  
 $D_{п}$  – диаметр плоского центра,  $s$  – шаг гофра,  $2h$  – высота гофра,  $\delta$  – толщина мембраны

Достоинства: компактность, простота конструкции и невысокая стоимость изготовления.

Гофрировка, нанесенная в виде концентрических волн по поверхности пластинки, позволяет получать мембраны с большим прогибом без остаточных деформаций.

Для увеличения перемещения чувствительного элемента применяются мембраны, спаянные попарно в коробки (рисунок 1.88).

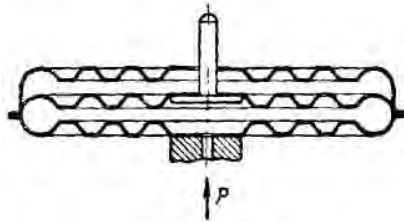


Рисунок 1.88 – Комбинированная мембранная коробка

Для измерения абсолютного давления служит герметически изготовленная коробка - anerоид, полость которого изолирована от внешней среды и воздух из нее откачан. Под действием внешнего атмосферного давления anerоид прогнут и находится постоянно в нагруженном состоянии.

Для измерения разности двух давлений служит манометрическая коробка, полость которой в нерабочем положении соединяется с внешней средой, а при работе - со средой, давление которой измеряется.

### 1.10.2. Применяемые материалы

Материалы для изготовления мембран, должны обладать:

- а) достаточным относительным удлинением;
- б) достаточным пределом прочности при разрыве;
- в) однородностью механических свойств и структуры;
- г) устойчивостью против коррозии;
- д) способностью хорошо спаиваться или свариваться;
- е) хорошей пластичностью для формовки мембран с глубокими профилями;
- ж) малым температурным коэффициентом модуля упругости.

Материалы обычно не удовлетворяют всем этим требованиям, поэтому их подвергают

различной термической и механической обработке для изменения их свойств.

Материалы, применяемые для изготовления мембран, делят на две группы.

К первой группе относятся материалы, у которых полный цикл обработки заканчивается до гофрирования мембран. Это фосфористая бронза БрОФ6,5-0,4, оловянистая бронза БрОЦ4-3 (наиболее часто применяются), латунь Л62, нейзильбер ПМЦ-65-20, нержавеющая сталь 4Х13; 1Х18Н9Т; 36НХТ и др.

Ко второй группе относятся материалы, у которых цикл обработки заканчивается после гофрирования мембран. Наиболее характерными из них являются бериллиевая бронза БрБ2,3-2,6 и сталь У8А, У10А, 65Г.

### 1.10.3. Технологические процессы изготовления

**Заготовительные операции.** Материал для изготовления мембранных коробок поступает в лентах толщиной 0,3-1,5 мм и шириной 1200 мм.

**Прокатка.** Целью прокатки является:

1) упрочнение материала для получения необходимых механических свойств и однородной структуры;

2) получение необходимой толщины материала.

Прокатка осуществляется на точных вальцах (рисунок 1.89). Валки 3, из высоколегированной стали имеют специальные полости для охлаждения проточной водой. Рабочий зазор между валками регулируется двумя винтами 4 и распорными пружинами 2, установленными между подшипниками 1, в которых вращаются шейки валков.

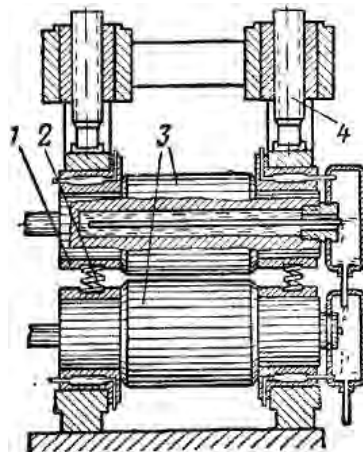


Рисунок 1.89 – Вальцы для прокатки

Прокатка производится в несколько переходов. О достижении необходимого предела обжатия, судят при появлении глубоких трещин и волнистости по краям прокатываемых листов.

**Термическая обработка** материалов первой группы сводится к отжигу в муфельных электропечах с точностью нагрева  $10^{\circ}\text{C}$ .

По окончании отжига коробки вынимаются из печи и охлаждаются.

Бериллиевую бронзу для придания ей пластичности закаливают в печи с защитной атмосферой (до  $780^{\circ}\text{C}$  и последующее охлаждение в воде).

Мембраны из бериллиевой бронзы облагораживаются в электрических печах при  $300-320^{\circ}\text{C}$ . Это делается в формах для устранения искажения мембран.

Затем для устранения загрязнения и окислов материалы подвергают химической и механической очистке. **Химическая очистка** должна снимать лишь окалину, не изменяя толщины полос; такая очистка называется отбелом.

**Вырубание кружков** производится на эксцентриковых прессах, при этом точность

направления пуансона относительно матрицы несколько микрон.

**Гофрирование** осуществляется в штампах и на специальных гидравлических прессах. Гофрирование в штампах может выполняться за одну или несколько операций.

Гофрирование за одну операцию при изготовлении мембран с малой высотой гофров показано на рисунке 1.90а. Формующий узел штампа состоит из матрицы 4, пуансона 2 и резинового амортизатора 5. Пуансон снабжен пружиной 1 и прижимным кольцом 3, исключающим образование складок.

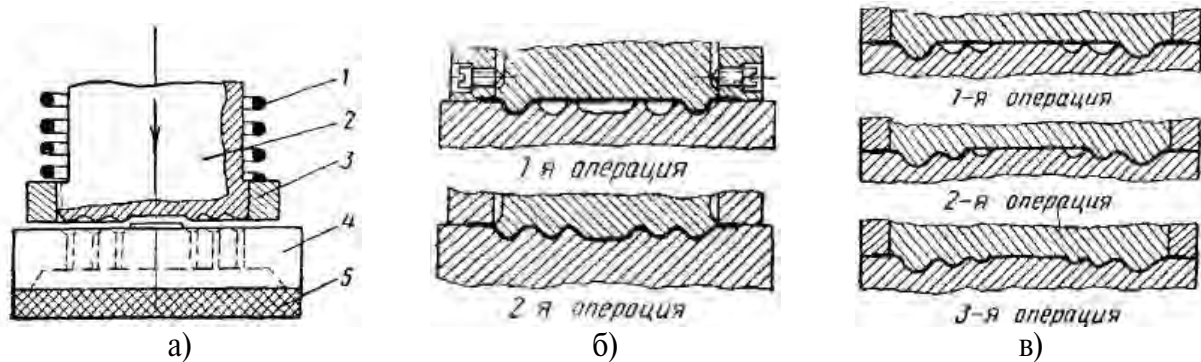


Рисунок 1.90 – Гофрирование мембран на прессах

Гофрирование за две операции изображено на рисунке 1.90б. Первая операция - вытяжка краевого гофра и образование борта; вторая - формование всех остальных гофров. При второй операции мембрана закрепляется по контуру.

Гофрирование за три операции показано на рисунке 1.90в.

**Недостаток** гофрирования в штампах - неравномерность формовки гофров.

При гофрировании на гидравлических прессах более высокое качество мембран достигается за счет равномерного распределения рабочего давления по всей поверхности заготовки.

**Соединение мембран в коробку.** Пайка коробок состоит из трех операций: облуживания бортов, собственно пайки и пайки центров.

После рифления у мембраны облуживаются борта, а также центры на автоматическом станке (рисунок 1.91). Вращательное движение от электродвигателя передается на шкив 1, который жестко связан со шпинделем 3. На конце шпинделя закреплен вакуумный патрон 4 с питанием через штуцер 2. Шпиндель перемещается вправо и влево при помощи кулачка 12. При перемещении вправо шпиндель подходит к магазину 5, из которого забирает мембрану. Магазин подводится к вакуумному патрону рычагом 6 и кулачком 7. Захватив мембрану, шпиндель становится в положение, при котором происходит облуживание мембраны трубчатым припоем, отверстие которого заполнено флюсом. С одной стороны трубка припоя намотана на катушку 11, с другой заправлена в механизм 10 подачи под электропаяльник 9, который при вращении кулачка 8 опускается вниз и качается в стороны.

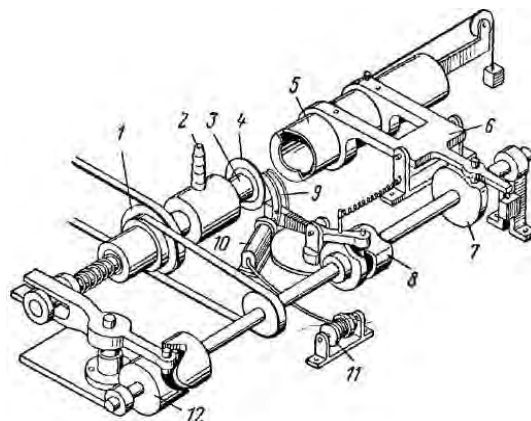


Рисунок 1.91 – Автоматический станок для облуживания мембран



После облуживания мембраны шпиндель отходит влево, действие вакуума прекращается, мембрана падает в тару.

Перед соединением в коробку мембраны промываются бензином и сушатся. Затем они устанавливаются в центрирующее приспособление и припаиваются.

Герметичность коробки проверяется погружением ее в горячую воду (по пузырькам воздуха).

Затем подрезают борта, напаивают каплю припоем ПОС-61, сверлят в ней отверстие диаметром 0,3 мм и сушат при  $100 \pm 10^\circ\text{C}$  в вакууме.

Затем отверстие в капле запаивается.

Сварка подразделяется на одноточечную (контактную) и многоточечную (шовную).

При сварке анероидной коробки вначале привариваются контактными методом центры (рисунок 1.92); далее в специальном приспособлении (рисунок 1.93) мембраны предварительно соединяются через пазы контактными методом в трех точках.

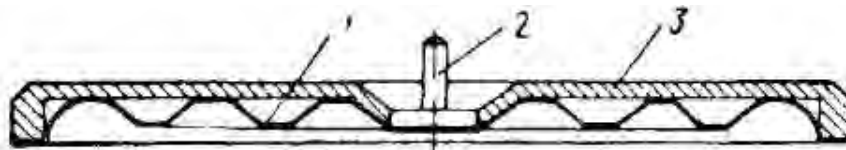


Рисунок 1.92 – Приспособление для приварки центра:  
1 – мембрана; 2 – центр; 3 – приспособление

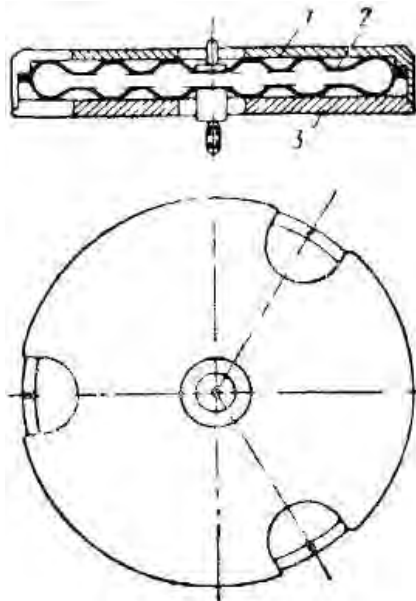


Рисунок 1.93 – Приспособление для сварки мембран:  
1 – основание; 2 – коробка; 3 – крышка

Затем мембраны поступают на шовную машину, где производится сваривание до получения вакуумно-плотного шва.

**Стабилизация.** Для устранения местных напряжений после сварки изготовленные коробки подвергаются температурной и механической стабилизации.

Температурная стабилизация - в ваннах при  $-60$  и  $+100^\circ\text{C}$  многократным погружением коробок попеременно в ванну с той и другой температурой.

Механическая стабилизация - циклическое нагружение - раскачка.

## 1.10.4. Технология изготовления сильфонов

### 1.10.4.1. Назначение сильфонов

Мех (сильфон) (рисунок 1.94) - гофрированная металлическая трубка, способная упруго изменять свою форму в зависимости от действия приложенных сил. Мехи применяются не только в качестве чувствительных элементов приборов, но и как элементы, преобразующие потенциальную энергию давления в работу перемещения.

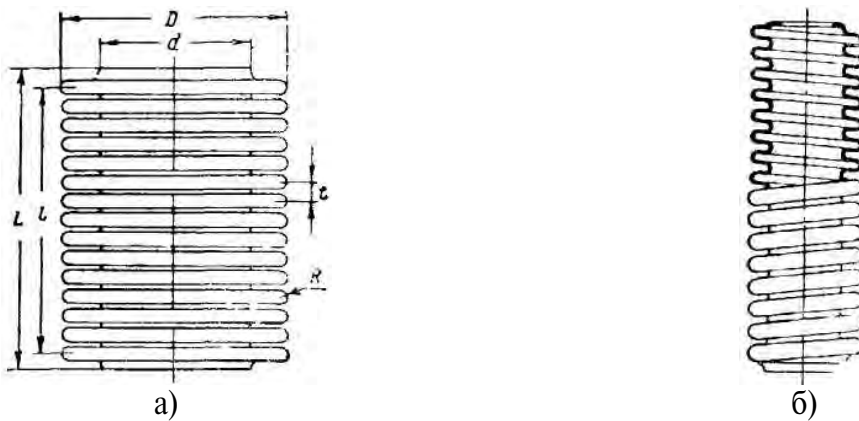


Рисунок 1.94 – Общий вид мехов:

а – меха с кольцевыми гофрами; б – меха со спиральными гофрами;  $D$  – наружный диаметр,  $d$  – внутренний диаметр,  $L$  – длина в свободном состоянии,  $l$  – длина рабочей части,  $R$  – радиус гофров,  $t$  – шаг

### 1.10.4.2. Применяемые материалы

Меха изготавливаются из тонкостенных однослойных и многослойных цельнотянутых металлических трубок. Толщина стенки 0,08-0,8 мм. Меха изготавливаются как из чистых металлов - серебра, меди, никеля, так и из сплавов - латуни, фосфористой и бериллиевой бронзы и т. д.

### 1.10.4.3. Технологический процесс изготовления мехов

У готовой тонкостенной трубки проверяются разностенность, отсутствие внешних дефектов и точность размеров. Для придания однородных свойств металлу и снятия нагартовки обрезанная по длине трубка закаляется в электропечи с защитной аммиачной средой при 760-780° С. После закалки мех профилируется механическим, гидравлическим (применяется в серийном и массовом производствах) или смешанным способами.

Устройство для гофрирования мехов гидравлическим способом показано на рисунке 1.95. Процесс гофрирования меха разбивается на несколько этапов. Вначале устройство готовится к закладыванию заготовки; пластинчатые матрицы 2 предварительно устанавливаются на равном расстоянии друг от друга, затем вводятся клинья 5, которыми матрицы 2 окончательно устанавливаются на заданном расстоянии. Далее закладывается заготовка 1, открытый конец которой вставляется в зажим 6, находящийся в бабке 7. Затем подводят пластинчатые матрицы, которые плотно охватывают заготовку. В заготовку подается давление, при этом она несколько расширяется, чем достигается более плотное прилегание ее

к пластинчатым матрицам. Далее выводят клинья 5. Давление, поступившее в цилиндр, вызывает перемещение штока 4, что приводит к деформации заготовки. Заготовка, испытывая созданное таким образом осевое давление, при одновременном действии давления изнутри сокращается по длине и заполняет свободные промежутки между пластинчатыми матрицами. В процессе сокращения длины заготовки матрицы соответствующим образом перемещаются на направляющих валиках 3, и трубка складывается в гофры.

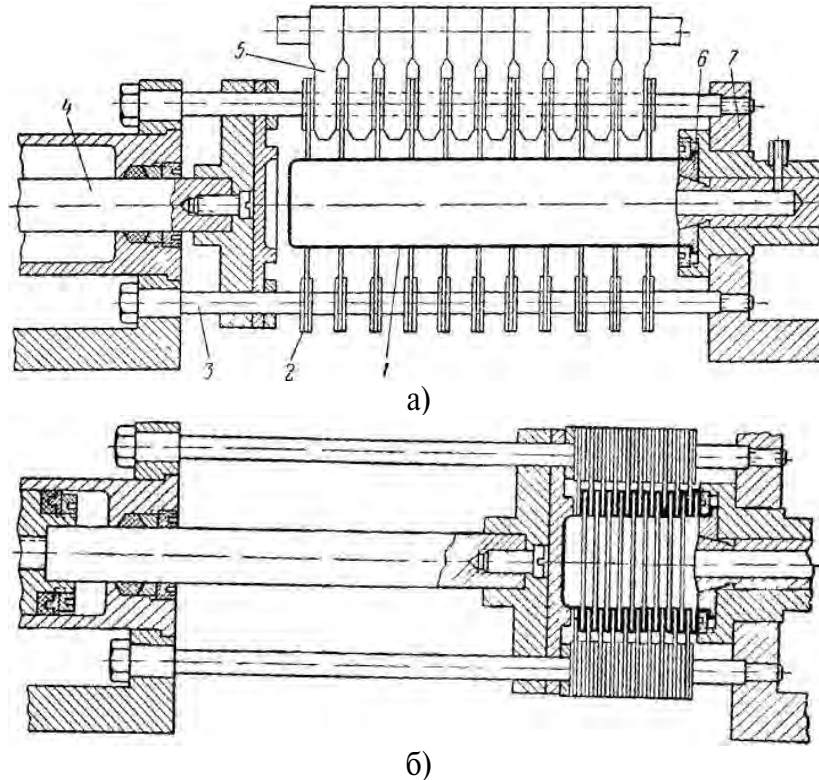


Рисунок 1.95 – Устройство для гофрирования мехов гидравлическим способом:  
а – начальное положение; б – конечное положение

Избыточное давление жидкости, создаваемое в трубке благодаря уменьшению ее объема в процессе изготовления, сбрасывается предохранительным клапаном, а лишняя жидкость стекает обратно в бак. Давление жидкости снимается, и шток возвращается в исходное положение. Конец заготовки освобождают из зажима, открывают пластинчатые матрицы и извлекают изготовленный мех.

После проверки герметичности меха просушивают при  $80^{\circ}\text{C}$ , обезжиривают, отбеливают и пассивируют.

Затем меха укладывают в приспособление (рисунок 1.96), фиксирующее конфигурацию изделия, шаг и длину в соответствии с требуемыми размерами и облагораживаются для придания им высоких упругих и механических свойств. Термообработка выполняется при  $320 \pm 10^{\circ}\text{C}$  и выдержке в течение 2 часов с последующим охлаждением меха в приспособлении на воздухе.

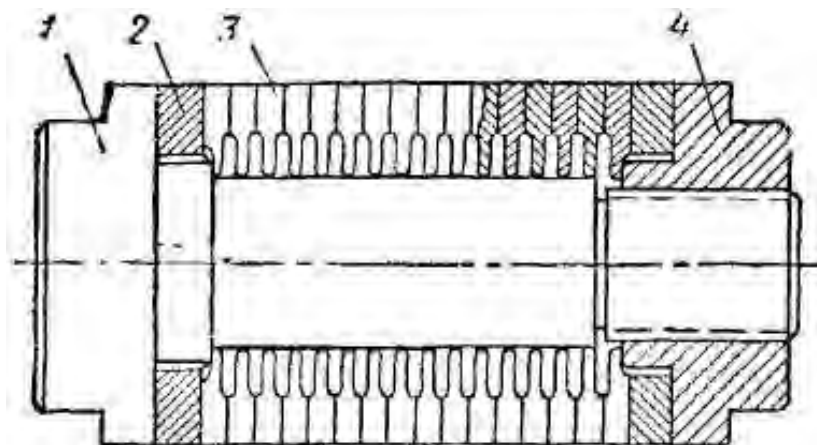


Рисунок 1.96 – Приспособление для облагораживания меха:  
1 – стержень; 2 – кольцо; 3 – прокладка; 4 – гайка

Далее следует обезжиривание, отбел и размерное пассивирование с целью доведения жесткости меха до требуемой величины.

Контрольные операции включают проверку герметичности, качества пассивирования и жесткости.

Затем длина меха калибруется в соответствии с требуемым размером. Целью калибрования является придание меху определенной характеристики при заданной длине.

После изготовления меха в соответствии с требуемыми размерами проверяют его упругость.

## 2. ПОКРЫТИЯ И АНТИКОРРОЗИОННАЯ ЗАЩИТА ДЕТАЛЕЙ ПРИБОРОВ

### 2.1. Подготовка поверхности металлов перед нанесением покрытий

#### 2.1.1. Классификация покрытий

Все покрытия можно разделить в зависимости от состава пленки на: **неметаллические, неорганические (химические); металлические (гальванические); лакокрасочные.** Нанесение покрытия на поверхность металлических деталей преследует:

- 1) надежную защиту от коррозии и увеличение срока службы изделия;
- 2) придание прибору красивого внешнего вида;
- 3) отдельные покрытия могут выполнять специальную роль (для работы детали на трение наилучшим покрытием является хром, для токопроводящих деталей - серебро).

Покрытия, отвечающие 1-му и 2-му требованиям, составляют группу защитно-декоративных, а 3-му - специальных.

#### 2.1.2. Подготовка покрытий

Подготовка металлических поверхностей ставит целью удаление с поверхности деталей посторонних загрязнений. Способы подготовки поверхностей перед нанесением покрытий разделяют на: механические; химические; электрохимические.

##### 2.1.2.1. Механические и химические способы очистки поверхностей

###### **Механические способы очистки поверхностей**

**Обработка абразивными материалами.** Цель обработки - удаление с поверхности металлов абразивными материалами продуктов коррозии - окислы, ржавчины, окисных пленок, старых покрытий для отделки заново. Абразивом служит электрокорунд. **Сущность метода:** струя просушенного и просеянного до однородного состояния электрокорунда направляется из отверстия специального распылителя под давлением сжатого воздуха на поверхность детали. Каждая песчинка абразива ударяясь о поверхность детали отщепляет кусочки ржавчины, окислы и других посторонних наслоений, а также оставляет след на поверхности в виде небольшой вмятины. Поэтому поверхность не только очищается от коррозии, но и становится равномерно матово-шероховатой.

###### **Преимущества:**

- 1) возможность обработки различных по форме и размерам деталей из любых металлов и сплавов;
- 2) создание оптимальной шероховатости поверхности.

Лакокрасочные покрытия после такой подготовки поверхности обладают прочным сцеплением, что гарантирует долговечность и хорошее качество покрытия. Химические и металлические покрытия, нанесенные на шероховатую поверхность, «повторяют» ее неровности и получаются матовыми.

Для крупногабаритных деталей вместо электрокорунда применяют металлический песок или мелкую дробь.

**Сатинирование.** В качестве абразива используют сухие стеклянные шарики (бисер) или жидкую пульпу, в которой стеклянные шарики перемешаны с водой в объеме 1:2.

Сухим бисером обрабатывают алюминиевые пластины для придания им бархатистой матовости, которые затем фотоэмалируют.

Штампованные детали из латуни подготавливают таким образом под полуматовое декоративное хромоное покрытие.

**Шлифование и полирование.** Шлифование устраняет неровности, небольшие раковины, риски с одновременным удалением продуктов коррозии с поверхности. Поверхность детали после шлифования должна иметь  $Ra = 1,25$  мкм. Среди химических и металлических покрытий часто используют так называемые «зеркальные». Для них в качестве подготовки применяют шлифование с последующим полированием.

Подготовка поверхности осуществляется на шлифовально-полировальных станках. Шлифовальные круги изготавливают из фетра или войлока, на рабочую поверхность которых с помощью клея накатывают слой корунда, наждака, карборунда, электрокорунда.

Полирование сводится к приданию зеркального блеска шлифованной поверхности с помощью полировальных кругов из мягких материалов (бязи, фланели, кожи, замши и др.).

Для полирования деталей применяют пасту ГОИ. Шероховатость поверхности после шлифования с полированием  $Ra = 0,63-0,16$  мкм.

**Недостаток:** трудоемкость операций.

**Алмазная обработка.** Позволяет получить зеркальную поверхность, не искажая правильной геометрической формы мелких деталей (в отличие от обычного шлифования и полирования). Так получают зеркальные металлические покрытия для латунных деталей, а для сплавов алюминия ее применяют вместе с анодным оксидированием поверхностей.

**Химические методы подготовки поверхностей.**

**Обезжиривание в органических растворителях.** Состоит в химическом растворении различных по составу жиров и масел органическими жидкостями (бензин, керосин, уайт-спирит), которые затем самопроизвольно испаряются с поверхности, не оставляя следов и не производя коррозии металла.

**Преимущества:**

- 1) высокая скорость удаления загрязнений;
- 2) хорошо обезжириваются углубления, отверстия, резьба, пазы и т. д.;
- 3) не требует специальных сушильных устройств.

**Недостатки:**

- 1) пожаро- и взрывоопасным процесс;
- 2) ядовитость паров.

Способ используют только в наиболее ответственных случаях.

**Обезжиривание щелочными растворами.** Заключается в том, что при взаимодействии жировых и масляных веществ с горячими водными растворами щелочей происходит разложение жиров с образованием их солей (омыление), которые затем смываются горячей водой. Применяют для металлов стойких к щелочам.

Детали из металлов, растворимых в щелочах, обезжиривают в растворах щелочных солей: углекислом натрия, фосфате натрия т. д. После щелочного обезжиривания детали тщательно промывают горячей и холодной водой и просушивают.

**Преимущество:** возможность механизации и автоматизации процесса.

Способ используют для подготовки деталей под лакокрасочные покрытия, химическое оксидирование, фосфатирование, перед пескоструйной обработкой электрокорундом и травлением.

**Травление.** Способ удаления продуктов коррозии путем их растворения в соответствующих химических растворах.

**Преимущества:** можно очищать детали любой толщины, не изменяя ее размеров, параметров шероховатости, не подвергая ее деформации.

Для горячекатаной стали применяют 20 %-ный раствор серной кислоты при 50-60 °С или 15% -ный раствор соляной кислоты при 30-40° С. Для латуни применяют азотную кислоту.

Иногда детали не нуждаются в длительном травлении, но перед нанесением химических

или металлических покрытий проводят **декапирование**, т. е. легкое, быстрое травление тонких окисных пленок, которые могли образоваться при нахождении на воздухе или транспортировке деталей.

### 2.1.3. Электрохимические способы подготовки поверхностей

**Электрохимическое обезжиривание.** Служит для окончательной подготовки деталей из углеродистых сталей перед металлическими покрытиями. За счет поляризации металла электрическим током в щелочных растворах уменьшается прочность сцепления жировой пленки с поверхностью детали, происходит ее разрыв с образованием отдельных жировых частиц. Эти частицы препятствуют выходу мелких пузырьков газа, выделяющихся на электродах. Мелкие пузырьки соединяются в более крупные, которые способны оторвать от поверхности жировые загрязнения и переместить их в электролит. Так происходит освобождение поверхностей от незначительных жировых пленок.

Чаще применяют катодную обработку, а иногда комбинированную - сначала на катоде, а затем на аноде. Плотность тока 3-10 А/дм<sup>2</sup>; напряжение 3-12 В; температура раствора 60-80 °С.

Детали на специальном приспособлении погружают в электролит на 30-40 с. После обезжиривания их промывают в горячей и холодной воде.

**Электрохимическое травление.** Различают катодное и анодное травление. При катодном травлении катодом служит деталь, а анодом - свинцовые пластины. Очистка сводится к механическому отрыванию частиц окиси за счет пузырьков водорода, бурно выделяющихся у катода. Травильный раствор состоит из смеси соляной и серной кислот. **Недостаток:** возможность насыщения водородом металла (наводороживание), приводящее к его хрупкости.

При анодном травлении деталь служит анодом, а механизм травления сводится к частичному растворению металла с поверхности, при этом происходит и механическое отрывание окисных пленок. Электролит - смесь хлористого натрия, соляной, серной кислот. В результате деталь приобретает слегка шероховатую поверхность, что улучшает адгезию покрытия. **Недостаток:** растравливание детали (появление пор, уменьшение толщины, хрупкость).

## 2.2. Неметаллические неорганические покрытия

Представляют собой пленки оксидов или солей металлов, не растворимые в воде. Они называются химическими, имея в виду состав пленки.

Для каждого вида металла или сплава существуют свои оксиды или соли. Поэтому основные химические покрытия классифицируют так: для черных металлов - химическое оксидирование, химическое фосфатирование и оксидно-фосфатное; для сплавов алюминия - анодное оксидирование и эматалирование; для титана - анодное оксидирование; для латуни и бронзы - химическое оксидирование; для цинка - химическое фосфатирование.

По способу образования на поверхности металлов химические покрытия бывают двух видов: полученные химическим взаимодействием детали с раствором, в который ее погружают; полученные электрохимическим взаимодействием с электролитом под действием электрического тока (анодные химические покрытия).

### 2.2.1. Оксидные покрытия для черных металлов

Для получения такого покрытия детали опускают в горячие (около 150 °С) концентрированные растворы гидроксида натрия с добавлением окислителей. После выдержки

в указанных растворах происходит образование безводной оксидной пленки черного цвета. Толщина пленки в пределах 1 мкм, что позволяет использовать его для тонких и точных деталей, для крепежа, имеющего резьбу.

**Достоинство покрытия:** высокая адгезия с поверхностью и эластичность. Его применяют для деталей, подверженных упругой деформации и растяжению - сжатию (пружины, прижимные планки).

**Недостаток покрытия:** низкая коррозионная стойкость. Для повышения защитных свойств после химического оксидирования производят дополнительную обработку: 1) пропитка в горячем веретенном или вазелиновом масле промытой и просушенной детали с покрытием - промасливание; 2) хроматирование - обработка в водных растворах солей двухромовой кислоты; 3) нанесение лакокрасочных покрытий.

### 2.2.2. Фосфатные покрытия

По составу представляют пленку из нерастворимых солей фосфорной кислоты. Процесс называется **фосфатированием**. Используют для углеродистых сталей, чугуна, а также для сплавов цинка. Цвет покрытия от серого до серо-черного. Толщина покрытия 10-15 мкм.

От оксидной пленки фосфатное покрытие отличается не только толщиной, но и наличием кристаллической структуры. Покрытие относится к защитному коррозионно-стойкому. Его защитные свойства возрастают в результате хроматирования, промасливания.

Применяют покрытие для защиты от коррозии деталей сложной конфигурации, особенно литейных. Оно имеет прочное сцепление с лакокрасочным покрытием, обладает хорошими диэлектрическими свойствами, выдерживает кратковременный нагрев до 400-500 °С, хорошо прирабатывается. **Недостаток:** следует низкая механическая прочность и вероятность осыпки при ударах, тряске.

Подготовкой под фосфатирование является обезжиривание с последующей обработкой электрокорундом.

**Оксидно-фосфатные покрытия на стали и чугуне.** Это разновидность оксидирования, но в бесщелочном растворе. Рабочий раствор содержит ортофосфорную кислоту и различные окислители. Образующая пленка кроме оксидов железа содержит нерастворимые фосфаты кальция или бария.

### 2.2.3. Оксидные покрытия для цветных металлов

По химическому составу представляют собой оксиды в виде тонких пленок, не растворимых в воде.

**Анодное оксидирование алюминия (анодирование).** По химическому составу - это оксид алюминия, в виде бесцветной и прозрачной пленки. Окисление детали из алюминия происходит в растворах кислых электролитов под действием электрического тока. При постоянном токе анодом является сама деталь, катодом - свинцовые пластины. При переменном токе оксидируемые детали служат попеременно анодами и катодами.

Образование и рост оксидной пленки зависит от противоположных процессов: окисления алюминиевой поверхности под действием тока и химического растворения пленки. Поэтому получаемая пленка состоит из двух слоев: плотного сплошного слоя толщиной 0,01-0,1 мкм, прилегающего к металлу, и пористого слоя на внешней поверхности пленки (рисунок 2.1).



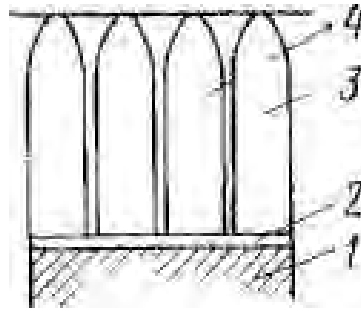


Рисунок 2.1 – Строение пленки при оксидировании алюминия:

1 – алюминиевая поверхность, 2 – тонкий беспористый слой оксидной пленки, 3 – толстый слой оксидной пленки, 4 – поры в покрытии

#### Достоинства:

1. Высокие защитные свойства, хорошее сцепление с основным металлом и лакокрасочным покрытием, наносимым по оксидной пленке.

2. Высокая микропористость внешней части пленки делает ее способной адсорбировать органические красители и минеральные пигменты и окрашиваться при этом в различные цвета.

3. Обладает высокой механической твердостью, износостойкостью и электроизоляционными свойствами.

4. Красивый внешний вид.

Защитные и защитно-декоративные покрытия имеют толщину 3-20 мкм, а износостойкие и электроизоляционные – толщину 30-150 мкм.

**Анодно-оксидные непрозрачные (эмалевые) покрытия.** Эмаль – непрозрачная пленка – по внешнему виду напоминает стеклянное эмалевое покрытие. Естественный цвет – от светло-серого до темно-серого. Окрашивается в водных растворах органических красителей. Используется для деталей из чистого алюминия, а также из малолегируемых деформируемых сплавов.

**Достоинства:** твердость и износостойкость; высокое удельное сопротивление; стойкость к резким перепадам температуры; способность выдерживать гибку и неглубокую вытяжку.

**Недостаток:** невозможность получения качественной пленки на любых сплавах алюминия.

**Анодное оксидирование титана.** Химический состав пленки – диоксид титана. Толщина покрытия до десятков микрон. Высокая химическая стойкость пленки.

Его применяют как для декоративных целей, так и для создания черных светопоглощающих покрытий, а также для деталей с улучшенными антифрикционными свойствами. Толщина этих покрытий составляет около 1 мкм.

**Оксидные покрытия для сплавов меди.** Осуществляют химическим, а также электрохимическим путем.

Химическое оксидирование называют «холодным чернением». Процесс идет при температуре 18-20 °С в аммиачном растворе углекислой меди. Толщина покрытия 1 мкм. Используют только для латуней различных марок.

Для бронзы, красной меди, а также и латуни покрытие можно получать электрохимическим путем (на аноде).

Защитные свойства оксидных химических и анодизационных покрытий малы и их повышают последующим промасливанием или нанесением лакокрасочных покрытий.

**Недостаток:** быстрое истирание покрытия. Применяется для деталей типа втулок, а также деталей, связанных с оптикой.

### 2.3. Металлические покрытия

Металлические покрытия могут быть нанесены следующими способами: гальваническим, химическим, горячим, диффузионным, металлизационным.

### 2.3.1. Электрохимический метод нанесения покрытий

Металлические (гальванические) покрытия - пленки химически чистых металлов, нанесенные на поверхность металлических деталей электрохимическим осаждением из растворов электролитов. Сущность электролиза водного раствора соли меди с осаждением на катоде слоя металлической меди показана на рисунке 2.2.

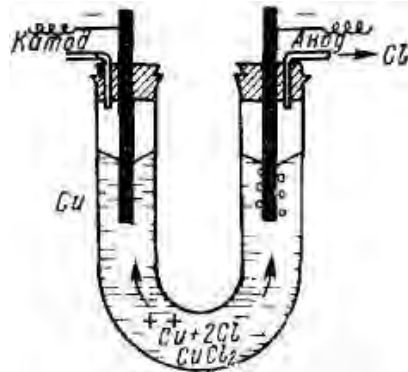


Рисунок 2.2 – Схема процесса электролиза водного раствора хлорида меди

Перед гальваническим покрытием детали подвергаются механической обработке (пескоструйной очистке или шлифованию и полированию). Затем детали подвергаются химическому или электролитическому обезжириванию с последующей промывкой в горячей и холодной проточной воде.

После промывки детали подвергаются химическому или электролитическому декапированию (травлению в растворе серной кислоты) с последующей промывкой в холодной воде.

Металлические покрытия получают в установках, называемых гальваническими ваннами (рисунок 2.3).

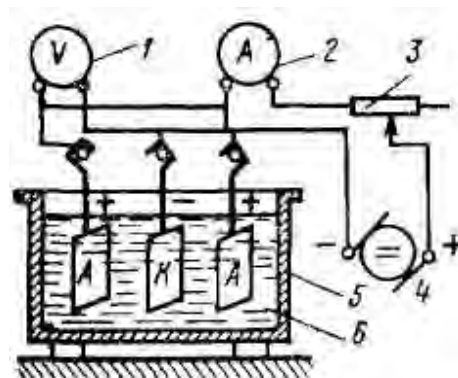


Рисунок 2.3 – Схема стационарной установки для катодного осаждения металлических покрытий:  
1 – вольтметр, 2 – амперметр, 3 – реостат, 4 – источник питания, 5 – ванна, 6 – электролит: А – аноды;  
К – катод

Металл покрытия осаждается на поверхность детали из электролита заданного химического состава при определенных плотности тока, температуре. Катоды - детали, аноды - пластины из чистого металла покрытия (при хромировании - пластины из свинца).

Осаждение металлического покрытия происходит в виде наростов на детали (рисунок 2.4).

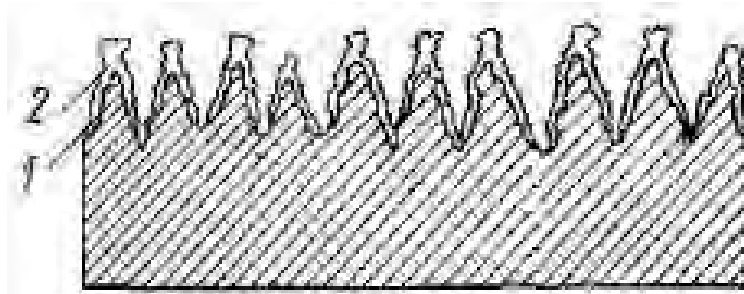


Рисунок 2.4 – Схема осаждения гальванических покрытий на микровыступах поверхности:  
1 – микровыступы поверхности; 2 – наросты покрытия

Требования к деталям:

- 1) после подготовки поверхности под покрытие деталь, не должна иметь раковин, забоин, заусениц и других дефектов;
- 2) все острые кромки, ребра должны иметь радиусы закругления не менее 0,5 мм или должны быть плавно сглажены механическим путем;
- 3) шероховатость покрываемой поверхности  $Ra = 1,25$  мкм.

Металлические гальванические покрытия можно подразделить на анодные и катодные. Покрытие называется анодным, если в данных условиях электродный потенциал металла покрытия более отрицательный, чем электродный потенциал основного металла; при обратном соотношении оно называется катодным.

Анодное покрытие защищает металл от коррозии механически и электрохимически и потому более надежно; при образовании местной электрохимической пары разрушается только металл покрытия.

Катодные покрытия защищают основной металл лишь механически.

На рисунке 2.5а показана схема анодного (цинкового) покрытия на стали. При наличии пор или возникновении дефектов в цинковом покрытии оно будет постепенно разрушаться, а деталь остается без изменений.

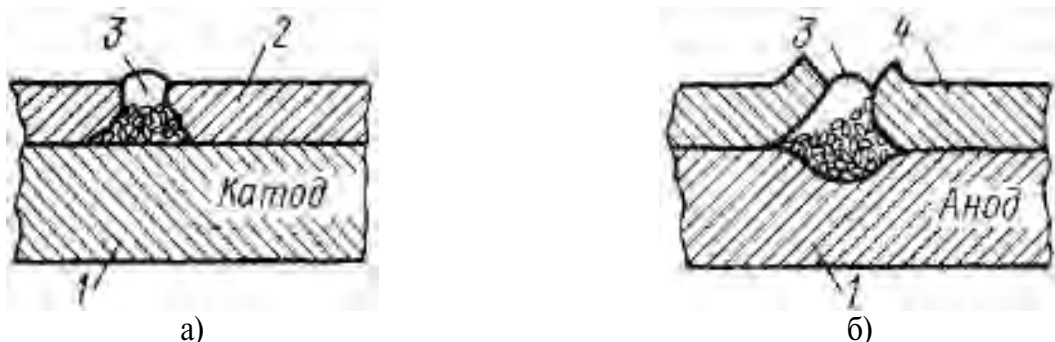


Рисунок 2.5 – Схема покрытий на стали: а – анодного; б – катодного; 1 – сталь, 2 – цинковое покрытие, 3 – дефект покрытия, 4 – никелевое покрытие

Катодными по отношению к железу являются покрытия из кадмия, никеля, олова, меди.

На рисунке 2.5б дана схема катодного (никелевого) покрытия. При возникновении коррозии под слоем катодного покрытия разрушаться будет основной металл, а продукты коррозии будут способствовать вспучиванию и отслаиванию покрытия.

Гальванические покрытия по назначению делят на:

- 1) защитные - цинковые, кадмиевые, свинцовые, оловянные и никелевые;
- 2) защитно-декоративные - медные с последующей отделкой (оксидированием), никелевые, хромовые, серебряные, золотые и родиевые;
- 3) для повышения поверхностной твердости и сопротивления механическому износу - хромовые, железные, никелевые;
- 4) для восстановления размеров деталей - хромовые и медные.

### 2.3.2. Гальванические покрытия

По числу наносимых слоев могут быть однослойные и многослойные. Однослойные - это покрытия одним каким-либо металлом определенной толщины за один технологический цикл. Многослойные покрытия - это последовательно нанесенные друг на друга слои различных металлов. Внутренний слой носит название «подслой».

**Преимущества** металлических покрытий: хорошее сцепление со основным металлом; высокие антикоррозионные свойства; стойкость к органическим растворителям. **Недостатки:** хрупкость основного металла за счет его наводороживания в процессе осаждения покрытий, неравномерность осаждения на различных участках детали.

**Цинкование** - это анодное защитное покрытие, применяемое в основном для крепежных изделий из черных металлов. Цвет - светлосерый; толщина - 7-30 мкм. Оно имеет среднюю твердость, выдерживает развальцовку и изгибы, устойчиво в сухом воздухе. Во влажной среде при температуре +60-80° С цинк быстро корродирует, на холоде он хрупок. Покрытие не является декоративным.

**Кадмирование** применяется для защиты от коррозии черных и цветных металлов и их сплавов. Цвет -серебристо-белый с синеватым отливом. Толщина - 7-25 мкм. Покрытие нерастворимо в щелочах, пластично, хорошо покрывает углубленные места и применяется для деталей, имеющих резьбу, подвергающихся развальцовке, вытяжке, гибке. Используют, когда невозможно применение цинкования.

**Меднение** как самостоятельный вид покрытия деталей из черных металлов не применяется, так как медь легко окисляется на воздухе и темнеет. Его применяют для образования подслоя перед нанесением никеля, хрома, серебра, золота, а также перед окраской и лакированием.

**Никелирование** - это катодное покрытие, обладающее высокой твердостью. Его применяют как защитно-декоративное покрытие. Отличается большой пористостью и поэтому для защиты стали его наносят на подслоя меди. Никелевое покрытие хорошо полируется, устойчиво в растворах многих солей и щелочей, но на воздухе со временем тускнеет.

**Хромирование** - катодное покрытие, используемое для защиты от коррозии стальных, медных, алюминиевых изделий и никеля, а также для повышения отражательной способности, износоустойчивости, жаропрочности и твердости. Цвет голубовато-белый, толщина 3-15 мкм. Хромовые покрытия обладают высокой стойкостью при работе на трение, хорошо полируются и не тускнеют при нагревании до 300-500° С. **Недостатки:** большая пористость и неравномерность распределения его по поверхности, плохая смачиваемость маслом, хрупкость.

**Лужение** - это покрытие сплавами олово-свинец. Применяется для защиты стали, меди и ее сплавов от коррозии, а также для подготовки поверхности к пайке. Покрытие может осуществляться электролитическим и горячим способами. Горячий способ (погружение в расплав) применяют для покрытия изделий из жести. Электролитическое покрытие обладает хорошим сцеплением с металлом, но меньшей химической стойкостью, выдерживает изгибы и вытяжку. Толщина покрытия 10-30 мкм.

**Серебрение и золочение.** Используют для повышения электропроводности поверхностных слоев и контактов и наносят на слой меди и ее сплавов толщиной 35-50 мкм. Механическая прочность покрытий незначительна, поэтому для повышения их твердости и износостойкости в электролит вводят никель или кобальт.

### 2.3.3. Металлизация

Металлизация заключается в нанесении металлического покрытия на поверхность методом осаждения на ней жидкого металла, распыляемого газовой струей. Процесс

металлизации состоит в подаче металлической проволоки к источнику нагрева. Проволока нагревается до расплавления, и жидкий металл под давлением газовой струи вылетает с большой скоростью из сопла металлизатора в виде распыленных капель, которые ударяются о поверхность детали и, соединяясь с ней, образуют слои покрытия.

#### 2.3.4. Контроль качества покрытия

Состоит из осмотра внешнего вида; определения толщины, пористости и прочности сцепления; испытания коррозионной стойкости; испытания механических свойств.

**Внешним осмотром** (визуально или с помощью лупы с 10х увеличением) покрытий выявляют отслаивание, механические повреждения (царапины, забоины), непокрытые участки и др.

**Толщину покрытия** определяют химическим, физическим методами и с помощью специальных приборов. Химические методы основаны на растворении покрытия на выбранных участках поверхности специальными растворами. Толщину покрытия рассчитывают по времени воздействия раствора на покрытие до полного его растворения или по объему раствора, затраченному на удаление покрытия. Физические методы основаны на различии в магнитных или электрических свойствах основного металла детали и покрытия.

**Пористость покрытия** определяют химическими методами, накладывая фильтровальную бумагу, пропитанную соответствующими реактивами, на обезжиренную и высушенную поверхность детали. В местах пор на бумаге появляются окрашенные точки, число которых подсчитывают на 1 см<sup>2</sup>.

**Определение прочности сцепления** металлических покрытий с основой осуществляют методами царапания, перегиба и нагрева.

**Коррозионную стойкость** определяют методом ускоренных испытаний в искусственно создаваемых коррозионных средах.

**Механическую твердость** покрытий определяют методом царапания и методом затухающих колебаний маятника (измеряют продолжительность затухания маятника, опирающегося острием на поверхность покрытия). Полученные результаты сверяют с контрольными данными металла, твердость которого известна.

### 2.4. Лакокрасочные покрытия

Лакокрасочные покрытия по сравнению с металлическими имеют следующие преимущества: простоту нанесения; низкую стоимость; возможность покрытия изделий любых размеров; высокие защитные и декоративные свойства; возможность восстановления поврежденного слоя; возможность выравнивания поверхности; возможность сочетания с другими способами защиты. К недостаткам лакокрасочных покрытий можно отнести низкие механическую прочность и теплостойкость (не более 200°С). Данные покрытия нельзя применять для деталей точных размеров и трущихся поверхностей.

Технологический процесс нанесения лакокрасочных покрытий состоит из: подготовки поверхности; грунтования; шпатлевания; шлифования; нанесения покрытия; сушки.

Подготовка поверхности заключается в очистке ее от продуктов коррозии и загрязнений (химическим или механическим способом) и тщательном обезжиривании.

Грунтование - нанесение слоя грунта толщиной примерно 20 мкм. Применяется для улучшения сцепления лакокрасочных покрытий с поверхностью изделия.

Шпатлевание - процесс выравнивания загрунтованной поверхности. Шпатлевки представляют собой пастообразные массы. Шпатлевание улучшает внешний вид поверхности, но значительно снижает прочность покрытия. При защитном покрытии оно не применяется.

Шлифование производится после шпатлевания для сглаживания последнего слоя

шпатлевки или для сглаживания промежуточных слоев краски, лака.

Лакокрасочные покрытия наносят в несколько слоев. Каждый следующий слой наносят на высохший предыдущий. Уменьшение числа слоев за счет увеличения их толщины недопустимо.

Нанесение покрытия можно выполнять кистью (медленно сохнущие лаки, процесс малопродуктивный); валиком (большая производительность и более равномерный слой); окунанием (для деталей, имеющих внутренние полости и удобную для стекания краски форму); распылением (высокая производительность, более качественный и ровный слой, но повышенный расход краски). Наиболее совершенной является окраска в электростатическом поле высокого напряжения (до 100 кВт) (рисунок 2.6). При этом повышается качество окраски, так как разброс по толщине составляет 5-8 мкм (при ручном распылении 50-70 мкм), и в 3-4 раза - производительность труда; сокращается расход краски; процесс может быть полностью механизирован.

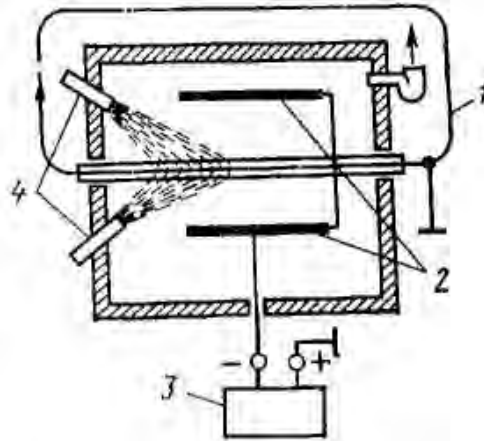


Рисунок 2.6 – Окраска в электростатическом поле:  
1 – конвейер (деталь); 2 – электроды; 3 – источник напряжения; 4 – распылитель

Сушка является заключительной операцией. Она может быть холодной (температура 20°C) и горячей (70-200°C), выполняемой в сушильных шкафах, рефлекторных сушилках и т. д. Наиболее совершенной является сушка инфракрасными лучами. Она дает большую экономию энергии и позволяет значительно сократить производственные площади.

## 3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ

### 3.1. Общие сведения о сборке

Технологический процесс сборки - это заключительный этап производства изделия, включающий сборку, регулировку, настройку и контроль изделия.

**Сборка** - часть технологического процесса, заключающаяся в соединении отдельных деталей или сборочных единиц (узлов).

**Регулировка** - часть сборочного процесса, заключающаяся в приведении узла или прибора в состояние, при котором обеспечиваются их заданные свойства.

**Операция** - часть технологического процесса сборки, выполняемая над одной или совокупностью одновременно собираемых сборочных единиц одним рабочим (или группой) непрерывно и на одном рабочем месте. Операции разделяются на элементы: переход, прием, установка.

**Переход** - часть сборочной операции, выполняемая над определенным местом соединения, при использовании одних и тех же приспособлений и инструментов, при неизменном методе выполнения работы.

**Установка** - часть операции, выполняемую при одном положении базовой детали. Если в процессе сборки положение базовой детали меняется, то такая часть операции называется позицией.

#### 3.1.1. Отработка конструкции изделия на технологичность

Технологичная (с точки зрения сборки) конструкция должна:

- 1) состоять из отдельных блоков, сборка которых может вестись параллельно;
- 2) получать необходимую точность в результате соединения изготовленных деталей без их доделки и пригонки. При жестких требованиях допускается сортировка деталей на группы или применение компенсаторов;
- 3) иметь простые соединения, надежные и удобные для сборки;
- 4) собираться при выполнении максимально простых операций;
- 5) не требовать разборки и повторной сборки.

#### 3.1.2. Узловая и общая сборка

Изделие состоит из деталей и узлов.

**Деталь** - часть изделия, выполненная из одного куска материала, является первичным звеном сборки.

**Узел** - часть изделия, состоящая из нескольких деталей, независимо от вида их соединения и методов выполнения.

Разделяют предварительную (узловую) и окончательную (общую) сборку. К предварительной относится сборка отдельных узлов (сборочных единиц). Сборочными называются такие элементы изделия, которые могут быть собраны отдельно, независимо от других элементов изделия. Окончательная сборка - процесс соединения всех узлов в готовый прибор, с последующей его регулировкой.

#### 3.1.3. Выбор организационной формы сборки

**Стационарная сборка** выполняется одним человеком или группой людей на одном неподвижном рабочем месте, к которому подают все необходимые детали, узлы (сборочные

единицы) и материалы. Применяется в единичном и мелкосерийном производстве, а также при сборке крупногабаритных и тяжелых приборов. Выполняется высококвалифицированными сборщиками.

**Подвижная сборка** выполняется при перемещении собираемого объекта от одного сборочного места к другому. На каждом рабочем месте осуществляется определенная сборочная операция. Основная характеристика подвижной сборки - ее такт, при этом длительность сборочной операции на каждом рабочем месте должна быть равна и кратна такту сборки. Подвижную сборку осуществляют двумя способами: со свободным и принудительным движением собираемых изделий. В первом случае перемещение изделий от одного рабочего места к другому может осуществляться вручную или с помощью конвейера, во втором - только с помощью конвейера.

Различают конвейеры с непрерывным и периодическим движением. При непрерывном движении сборочная операция выполняется за время, пока собираемое изделие проходит зону рабочего места. На конвейере с периодическим движением работа выполняется за время остановки конвейера. Конвейерную сборку применяют в крупносерийном и массовом производстве.

### 3.1.4. Выбор метода обеспечения заданной точности

Для надежной работы изделий детали, сборочные единицы и их геометрические элементы (поверхности, оси и т. п.) должны занимать определенное взаимное положение, как при сборке, так и при работе изделия. Из-за погрешностей изготовления деталей и неточности сборки взаимное положение деталей отличается от номинального. На точность сборки оказывает влияние точность сопрягаемых размеров и элементов деталей и сборочных единиц. Необходимое соотношение сопрягаемых размеров устанавливают расчетом размерных цепей. Размерная цепь - совокупность геометрических размеров, расположенных по замкнутому контуру и определяющих взаимное положение поверхностей (или осей) одной (детальная) или нескольких деталей (сборочная размерная цепь). Размерные цепи схематически изображают в виде замкнутого контура (рисунок 3.1). Размер, который в процессе сборки формируется в последнюю очередь, замыкая размерную цепь ( $B_4$ ), называется замыкающим звеном. Он зависит от размеров остальных звеньев размерной цепи, называемых составляющими ( $B_1$ - $B_3$ ).

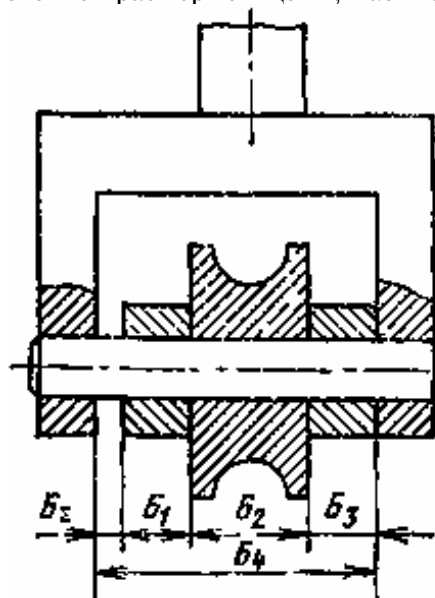


Рисунок 3.1 – Схема размерной цепи

В сборочной размерной цепи замыкающим размером является зазор, натяг или величина смещения одной детали относительно других в процессе работы прибора. **Обеспечить заданную точность при сборке** - довести результирующую погрешность замыкающего размера



$\Delta_{\Sigma}$  до величины, равной или меньшей допустимой погрешности  $\delta_{\Sigma}$ , что решается методами полной и неполной (частичной) взаимозаменяемости.

**Метод полной взаимозаменяемости** означает возможность сборки и замены любой детали деталью такого же типа и размера без подгонки и регулировки. При использовании готовых деталей всегда обеспечивается требуемая точность замыкающего звена, и процесс сборки состоит только в соединении деталей. **Преимущество:** простота и высокая производительность сборки.

**Метод неполной (частичной) взаимозаменяемости** применяется, когда уменьшение допусков отдельных деталей для повышения точности сборки узлов не выгодно экономически или технологически. Метод обеспечивает точность при сборке за счет подбора деталей (селективная сборка), регулирования деталями-компенсаторами, пригонки размеров одной детали.

**Селективная сборка.** Все сопрягаемые детали изготавливают с расширенными допусками  $T$ . Затем их сортируют на равное число групп  $n$  по заранее установленным градациям размеров. Допуск деталей в каждой группе соответственно равен  $T_p = T / n$ . После комплектации сопрягаемые детали собирают только в тех сочетаниях, которые обеспечивают требуемую точность сборочного соединения. Так можно уменьшить допуск замыкающего звена (повысить точность сборки), собирая детали, изготовленные с большими допусками. Метод требует дополнительных затрат на контроль, и сортировку деталей. Так как в каждой одноименной группе число сопрягаемых деталей не всегда одинаково и при сборке узлов могут остаться лишние детали. Используется в крупносерийном и массовом производствах.

**Метод регулирования деталями-компенсаторами.** Требуемая точность замыкающего звена достигается за счет регулировки размера одного из специально вводимых составляющих звеньев-компенсатора. В качестве подвижных компенсаторов используют эксцентрики, резьбовые втулки, клинья, пружины и т. д., а в качестве неподвижных - пакеты прокладок, шайбы, промежуточные кольца. Неподвижные компенсаторы позволяют компенсировать погрешность замыкающего звена ступенчато. **Недостаток:** приходится часто перебирать узел, меняя размер детали-компенсатора, чтобы получить требуемую точность, что снижает качество собранного узла.

**Метод подгонки.** Применяется, когда изготовление взаимозаменяемых деталей невозможно или невыгодно, а иметь детали-компенсаторы нежелательно. Требуемая точность замыкающего звена достигается в процессе сборки механической обработкой до необходимого размера одной из деталей сборочной единицы. **Достоинства:** метод позволяет расширить допуски составляющих звеньев. **Недостаток:** высокая стоимость доводочных работ. Неприменим в условиях поточного производства.

### 3.1.5. Исходные данные и последовательность проектирования

Исходными данными для проектирования процессов сборки являются сборочный чертеж изделия, технические условия на узлы и изделие, размер программного задания и руководящие материалы по сборочным процессам.

Сборочный чертеж для сборки должен содержать:

1) проекции и размеры, позволяющие полностью представить конструкцию изделия (узла, прибора);

2) спецификации деталей и узлов, входящих в данное изделие;

3) необходимые размеры, которые должны выдерживаться при сборке;

4) специальные данные и указания.

К ним относятся:

а) указания о необходимых зазорах и допустимой несоосности (биении) ;

б) о тарировании и регулировании изделия;

в) о построении сборочных процессов;

г) другие необходимые указания.

### 3.1.6. Разработка технологического процесса сборки

Составлению технологического процесса сборки предшествует разработка схемы сборочных элементов, на которой могут быть указаны не только порядок комплектования сборочных элементов, но и последовательность их сборки (рисунок 3.2). С одной стороны от линии наносятся изображения деталей, входящих в прибор, за исключением базовой, с другой стороны - все группы, составляющие изделие, за исключением базовой. (Базовыми называются элементы, с которых начинается сборка).

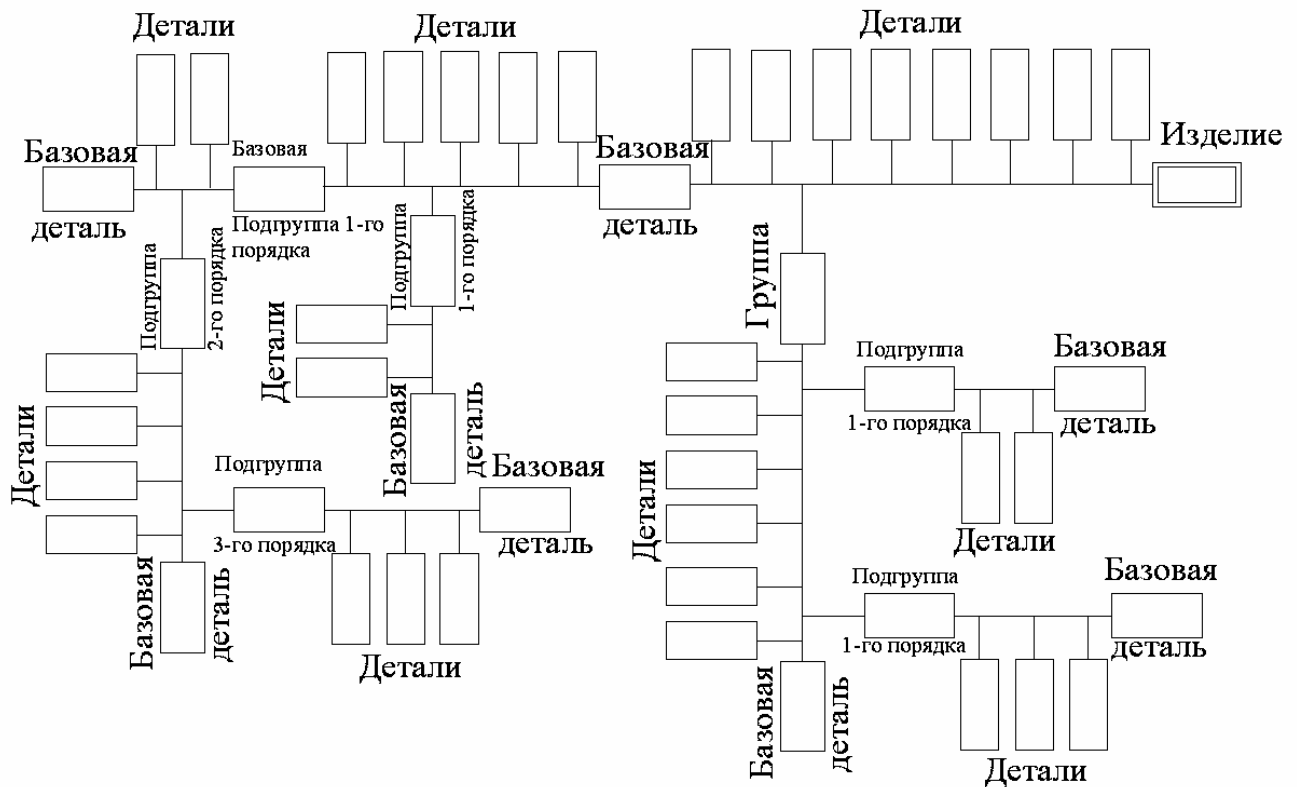


Рисунок 3.2 – Общий вид развернутой схемы сборочных элементов

На рисунке 3.3 представлена схема выполнения этапов проектирования ТП сборки изделия.

Процесс проектирования технологии сборки можно разделить на следующие этапы: подготовительный, синтетический, аналитический и заключительный. На **подготовительном этапе** осуществляется анализ исходных данных и определение типа производства. На **синтетическом этапе** выполняются: разработка технологической схемы сборки, выбор организационной формы сборки, синтез маршрута сборки, выбор схем базирования, выбор видов технологического оборудования и оснастки, синтез операций сборки. На **аналитическом этапе** определяются нормы времени, экономические характеристики вариантов технологических процессов сборки. На **заключительном этапе** результаты проектирования оформляются в технологических картах.

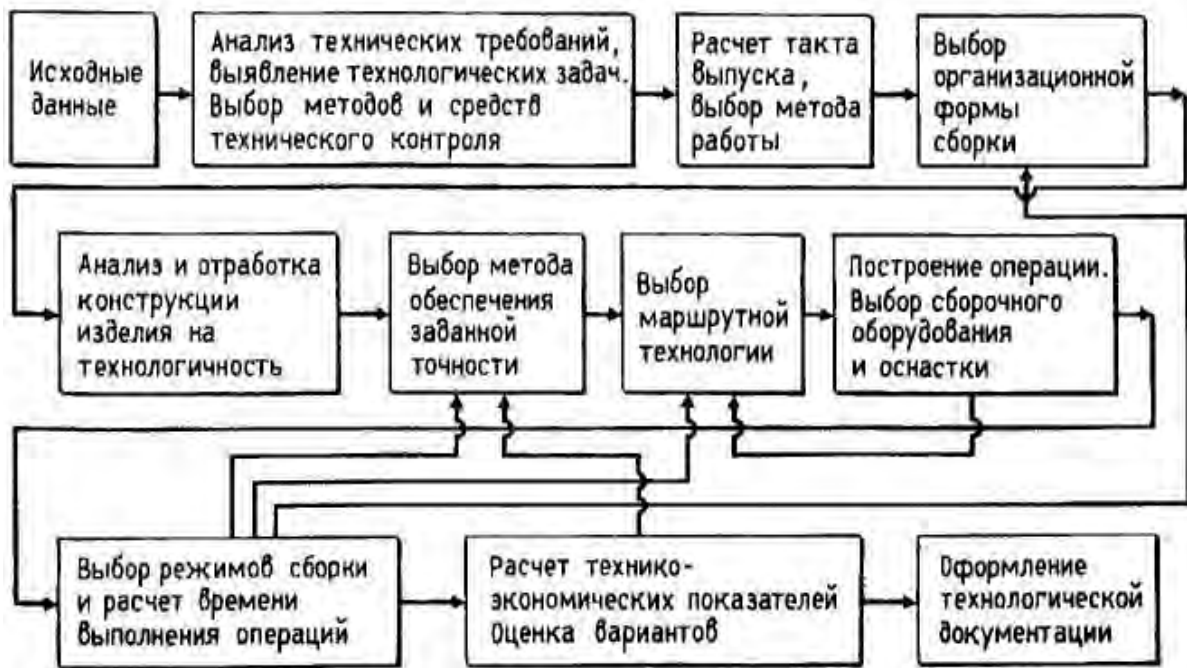


Рисунок 3.3 – Последовательность проектирования ТП сборки

## 3.2. Типовые технологические процессы сборки

Сборочные операции по видам соединения можно разделить на подвижные и неподвижные. При неподвижном соединении собранные детали или узлы сохраняют неизменное взаимное положение. При подвижном соединении сопряженные детали имеют возможность определенного взаимного перемещения.

Подвижные и неподвижные сборочные соединения делят также на разъемные и неразъемные. Разъемное - соединение, при разборке которого не происходит повреждения сопряженных или крепежных деталей. Неразъемное - соединение двух или более деталей или узлов (сборочных единиц), разборка которых сопровождается повреждением или разрушением сопряженных и крепежных деталей или скрепляющего вещества.

### 3.2.1. Подготовка деталей к сборке

Перед сборкой все детали подвергают тщательной промывке и очистке.

Для промывки деталей применяют эфир (для прецизионных механизмов и для чистки оптики), бензин. При использовании щелочных растворов детали споласкивают в воде. Промывку выполняют вручную или механически, с помощью ультразвука.

## 3.3. Сборка разъемных соединений

Неподвижные разъемные соединения осуществляют с помощью винтов, болтов, шпилек, штифтов, посадкой на конус, на шпонку и комбинированными способами.

### 3.3.1. Резьбовые соединения

Болтовое соединение осуществляется через отверстия в деталях с помощью гайки

(рисунок 3.4а), винтовое - без применения гайки через отверстие в одной детали и резьбового в другой (рисунок 3.4б).

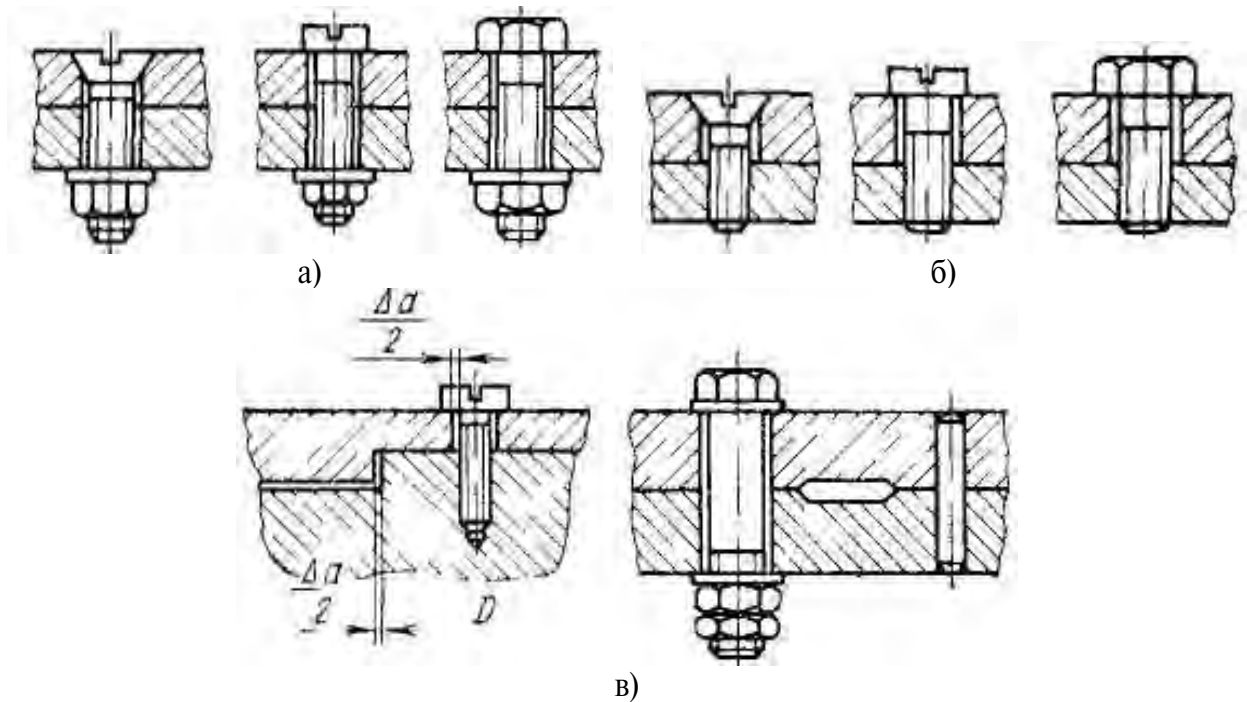


Рисунок 3.4 – Болтовые и винтовые соединения:  
 а – болтовые соединения, б – винтовые соединения; в – фиксация соединений

Соединяемые детали могут быть установлены между собой с фиксацией по цилиндрической поверхности или по плоскости с дополнительной фиксацией коническими или цилиндрическими штифтами (рисунок 3.4в). При сборке винтовых соединений необходимо предохранить винты и гайки от самоотвинчивания.

Процесс сборки резьбового соединения складывается из подачи деталей, установки их и предварительного ввертывания (наживления), подвода и ориентации инструмента, завинчивания, затяжки, отвода инструмента, выполнения процесса для предохранения от самоотвинчивания.

### 3.3.2. Соединения штифтами, шплинтами и шпильками

Штифты могут быть цилиндрическими и коническими. Для постановки штифтов следует сверлить и развернуть отверстия в соединяемых деталях в сборе. Для предохранения от выпадения цилиндрических штифтов применяют кернение площадок около отверстия или расклепку краев штифта (рисунок 3.5а), а для конических штифтов - проволочные кольца (рисунок 3.5б). Часто вместо штифтов используют шплинты и специальные детали (рисунок 3.5в). Неподвижность шпильки, ввинченной в корпус, достигается натягом, создаваемым одним из трех способов: коническим сбегом резьбы, упорным буртом или тугой резьбой с натягом по среднему диаметру. Распространена постановка шпилек с клеем.

Для многоболтового (многовинтового) соединения необходимо обеспечить равномерность затяжки всех его элементов, для чего используются следующие способы ограничения момента затяжки:

- 1) применение специальных (предельных или динамометрических) ключей (отверток);
- 2) поворот гайки на определенный, заранее установленный угол;
- 3) комбинированный способ.

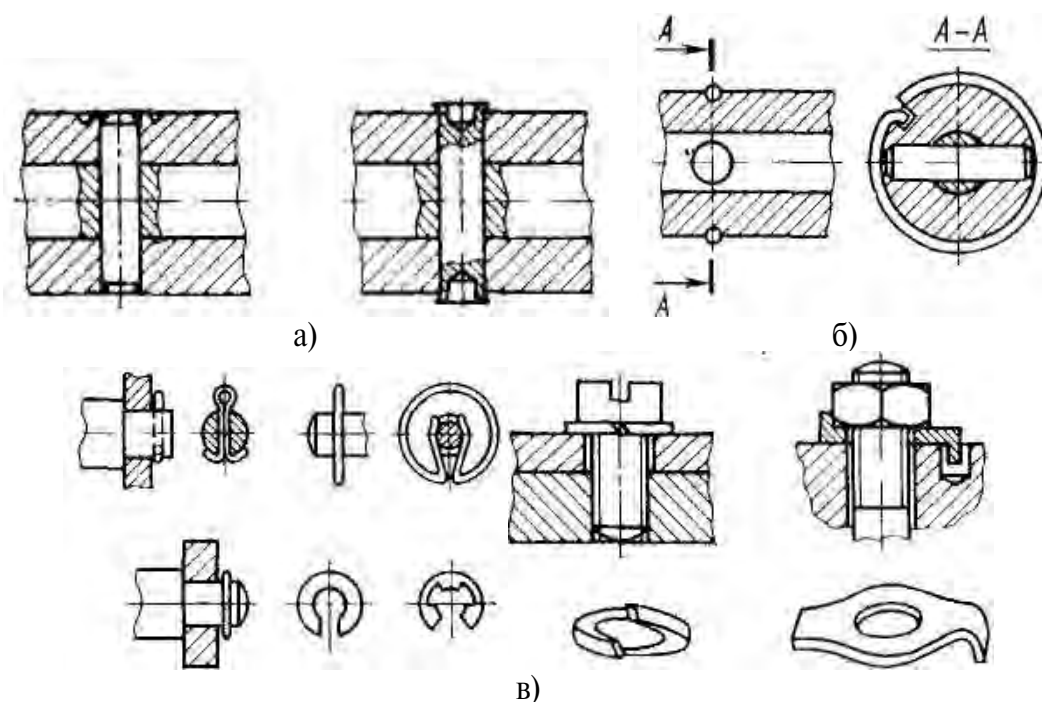


Рисунок 3.5 – Предохранения штифтов от выпадения:  
 а – кернением; б – развальцовкой; в – с помощью проволочного кольца

### 3.3.3. Шпоночные, шлицевые и конические соединения

Шпонка в паз вала устанавливается плотно или даже с натягом, а в пазу ступицы создается свободная посадка. Сборка соединения со шпонкой состоит из следующих этапов:

- 1) установки и закрепления вала в приспособлении;
- 2) ориентирования и запрессовки шпонки в паз вала;
- 3) проверки посадки шпонки на валу на плотность и симметричность;
- 4) установки охватываемой детали.

Сборку шлицевых соединений начинают с осмотра состояния шлицев сопрягаемых деталей, в частности внешних фасок и скруглений внутренних углов шлицев, так как при их неправильном выполнении возможно заедание при сборке. В тугоразъемных соединениях охватываемую деталь обычно напрессовывают на вал с помощью специального ориентирующего приспособления на прессе. При очень тугих шлицевых соединениях перед запрессовкой нагревают охватываемую деталь до  $80-120^{\circ}\text{C}$ . После установки и закрепления охватываемой детали соединение проверяют на биение.

Конические соединения с неподвижной посадкой применяют взамен цилиндрических, так как при сборке они имеют ряд преимуществ. В начале сборки вал легко входит в отверстие и самоцентрируется. Необходимый натяг в коническом соединении создается осевой запрессовкой охватываемого конуса на охватываемый и поэтому может регулироваться. Основным требованием к собираемым деталям конического соединения - допуск углов конусов охватываемой и охватывающей деталей должен быть меньше отношения натяга к длине конуса охватываемой детали. Полученный натяг можно контролировать по осевой осадке.

Осевая сила, необходимая для сборки конического неподвижного соединения, в средне- и малогабаритных сборочных единицах создается предусмотренной в конструкции гайкой, которую необходимо затягивать предельным или динамометрическим ключом.

### 3.4. Сборка неподвижных неразъемных соединений

#### 3.4.1. Соединения с натягом

По способам получения нормальных напряжений на сопрягаемых поверхностях их условно делят на продольно-прессовые, поперечно-прессовые, с применением вибрационно-импульсного воздействия и др.

##### 3.4.1.1. Продольно-прессовые соединения

При продольно-прессовом соединении (рисунок 3.6) охватываемая деталь под действием осевой силы запрессовывается с натягом в охватывающую, в результате чего возникают силы трения, обеспечивающие относительную неподвижность деталей.

Требуемый для данного соединения натяг  $\delta$  устанавливают в процессе конструирования сборочной единицы при расчете посадок. Для повышения надежности, долговечности соединений и их прочности расчет ведут по максимальному натягу, определяемому по размерам охватываемой и охватывающей поверхностей. Однако смятие микронеровностей под действием давлений уменьшает натяг.

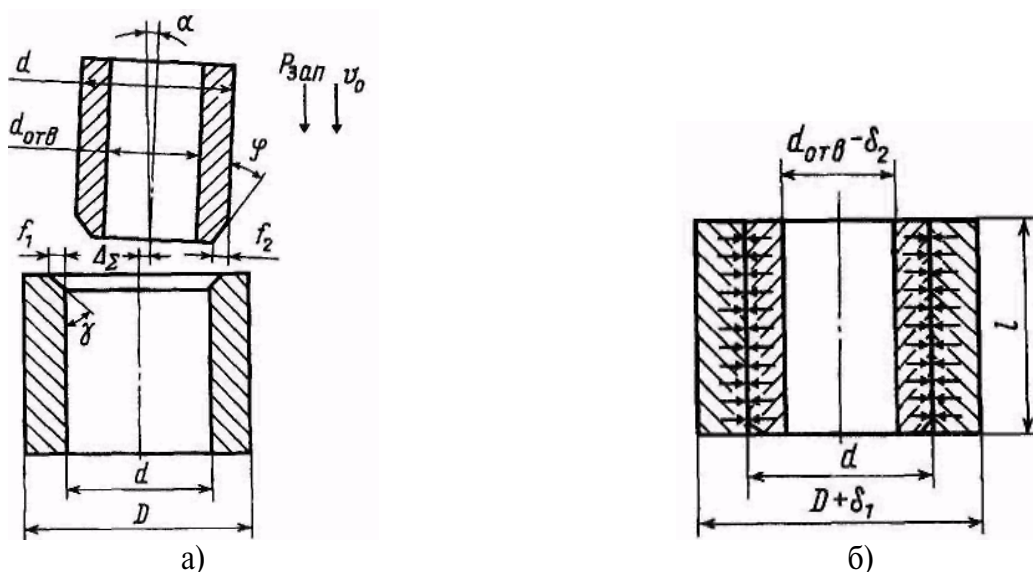


Рисунок 3.6 – Схема продольно-прессового соединения:  
а – перед началом сопряжения; б – после выполнения сопряжения

Для качественного выполнения соединения шероховатость соединяемых поверхностей должна быть  $Ra = 1,6-3,2$  мкм.

При сборке продольно-прессовых соединений происходит изменение размеров собираемых деталей: наружный диаметр охватывающей детали увеличивается; внутренний диаметр уменьшается. При значительных изменениях это вызывает необходимость дополнительной пригонки отверстий втулок после запрессовки путем развертывания или повторной расточки на станке.

В процессе запрессовки применяют масло для предохранения сопрягаемых поверхностей от задиrow.

Относительная ориентация деталей особенно важна при прессовании коротких деталей (длина  $l$  меньше диаметра сопряжения  $d$ ), т.к. кроме задиrow, возможен и остаточный перекоc (торцовое биение) напрессованной детали. Поэтому для относительной ориентации применяется соответствующая оснастка (рисунок 3.7).

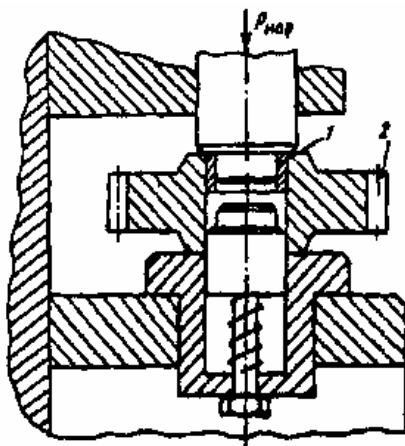


Рисунок 3.7 – Схема приспособления для ориентации и запрессовки втулки 1 в шестерню 2

Силы, необходимые при продольном прессовании, создают с помощью прессов, классификация которых приведена на рисунке 3.8.

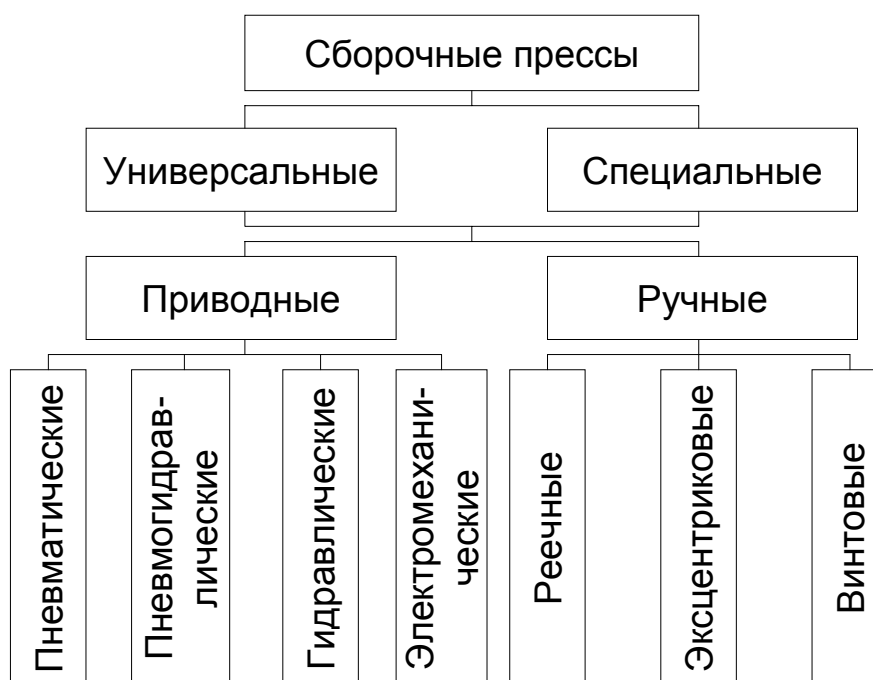


Рисунок 3.8 – Классификация сборочных прессов

**Недостаток** продольного прессования - ослабление посадки, вызванное сглаживанием неровностей в процессе прессования. Для уменьшения этого применяют медные, никелевые или хромовые гальванические покрытия.

#### 3.4.1.2. Поперечно-прессовые соединения

Сближение сопрягаемых поверхностей происходит радиально, т.е. нормально к поверхностям. Это осуществляется либо нагреванием охватывающей, либо охлаждением охватываемой детали перед сборкой.

Прочность тепловых посадок при передаче крутящего момента в 2-3 раза выше, чем у продольно-прессовых соединений, т.к. в процессе сопряжения микронеровности сопрягаемых поверхностей не сглаживаются, а как бы сцепляются между собой, что увеличивает

фактическую площадь контакта (рисунок 3.9).

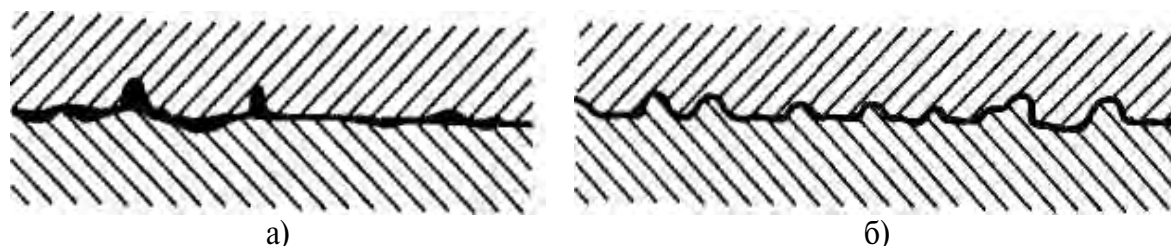


Рисунок 3.9 – Контакт микронеровностей в соединении с натягом:  
а – продольная запрессовка; б – тепловая сборка с охлаждением охватываемой детали

Температура нагрева не превышает  $360^{\circ}\text{C}$ . Детали нагревают в газовых или электрических печах на воздухе либо в минеральном масле (если температура деталей должна быть выдержана точно).

**Преимущества сборки с охлаждением перед горячей посадкой.** Нагрев деталей сложной формы приводит к температурным напряжениям, местным деформациям, снижению твердости. Прочность соединений, собранных с охлаждением на 10-15 % выше, чем при нагреве. Если детали имеют на сопрягаемых поверхностях гальванические покрытия, то при сборке с охлаждением последние обычно не портятся.

Однако при низких температурах в некоторых марках стали возможны фазовые превращения (распад аустенита), в результате которых размеры детали могут увеличиваться, что вызывает рост натяга. Охлаждение до  $-75^{\circ}\text{C}$  осуществляют с помощью твердой углекислоты (сухого льда). Посредством холодильных машин температура охлаждения может быть доведена до  $-100^{\circ}\text{C}$ .

### 3.4.1.3. Соединения с натягом, собираемые вибрационно-импульсным воздействием

Повышает прочность соединения по сравнению с продольно-прессовым. Вибрационную сборку можно проводить в низкочастотном, звуковом и высокочастотном (ультразвуковом) диапазонах. В зависимости от вида механических колебаний различают продольную, крутильную и комбинированную запрессовки.

При использовании вибрационной запрессовки снижается статическая сила  $P$  в 2-10 раз, при этом прочность соединения повышается в 1,5-2 раза.

Низкочастотная запрессовка ( $< 1000$  Гц) наиболее эффективна для сборки соединений диаметром более 20 мм с  $Ra = 1-1,6$  мкм. Недостатком является громоздкость и большая масса установки, большие динамические воздействия по амплитуде, что приводит к микроповреждениям сопрягаемых поверхностей, и повышенный шум.

Ультразвуковая запрессовка наиболее эффективна для сборки точных соединений диаметром  $d < 20$  мм, выполняемых с небольшими натягами по посадкам Js, K, N по 4-му...6-му квалитетам точности, когда другие методы неприемлемы (тепловая сборка) или не обеспечивают заданной точности (продольная запрессовка).

### 3.4.2. Сборка соединений путем пластического деформирования

Пластическое деформирование используют при сборке соединений, натяг которых создается пластическим радиальным расширением охватываемой или сжатием охватывающей детали. Основное назначение таких соединений – обеспечение неподвижности и (или) герметичности. Примеры соединений показаны на рисунке 3.10. Они осуществляются вальцеванием, обжатием, осадкой и т. д.



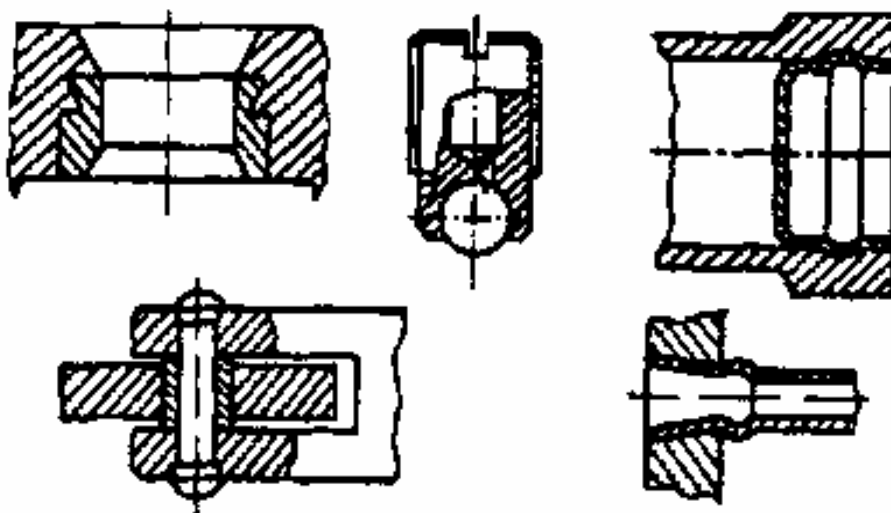


Рис. 3.10. Соединения, осуществляемые пластическим деформированием

Схема вальцевания приведена на рисунке 3.11. С левой стороны изображено седло 3 в начале процесса, а с правой - в конце. Вальцовка представляет собой обойму конических роликов 1, вращающихся на осях, закрепленных в двух дисках. Вальцовке сообщается вращательное движение с частотой  $n$  и осевая подача  $s$ . Ролики вальцовки, обкатываясь по внутренней поверхности седла, равномерно раскатывают его и одновременно отгибают выступающую кромку 4 в коническую выточку корпуса 2. По поверхности сопряжения седла с корпусом создается большой натяг, неосуществимый при обычной запрессовке.

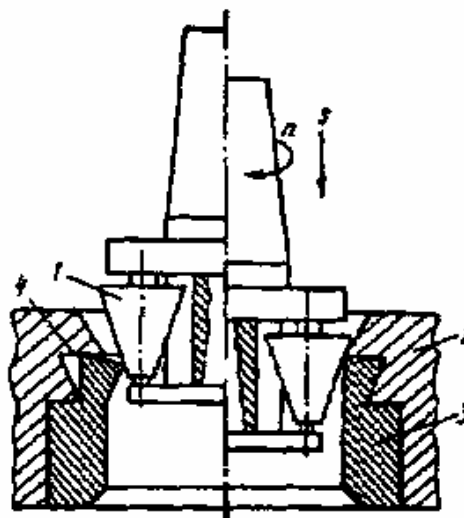


Рисунок 3.11 – Схема сборки клапанного седла вальцеванием

Вальцеванием можно выполнять пластическое деформирование концов стержней, стенок заглушек, трубок и т. д. Соединение деталей часто требует отбортовки концов трубок (край отгибается на угол  $> 90^\circ$ ). Этот процесс выполняется в три этапа:

- 1) осадка с формированием конуса с углом  $30...40^\circ$ ;
- 2) осадка с обеспечением конуса с углом  $120^\circ$ ;
- 3) отбортовка ступенчатым пуансоном.

Схема сборки обжатием показана на рисунке 3.12. Обжатие может быть местным или контурным и осуществляется за один ход.

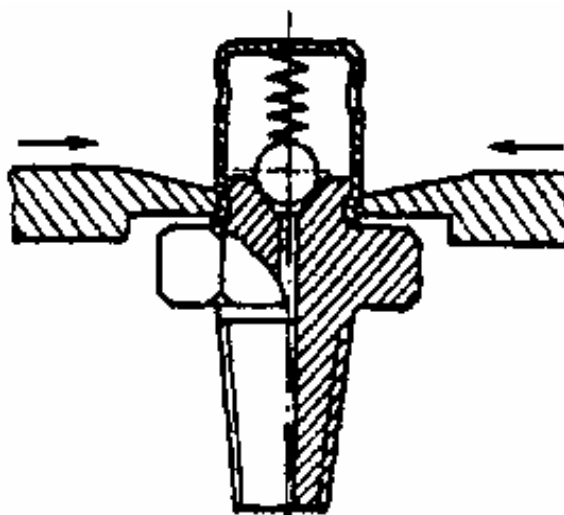


Рисунок 3.12 – Схема сборки обжатием

### 3.4.3. Сборка пайкой и склеиванием

**Пайка** - процесс получения неразъемного соединения двух или нескольких деталей с применением присадочного материала (припоя) путем их нагрева в собранном виде до температуры плавления припоя. Расплавленный припой затекает в специально создаваемые между соединениями деталей зазоры и диффундируют в металл этих деталей. При этом протекает процесс взаимного растворения металлов деталей и припоя с образованием сплава, более прочного, чем припой.

Различают пайку мягкими и твердыми припоями. Мягкие (оловянисто-свинцовые) припои имеют температуру плавления ниже  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а твердые (медные, медно-цинковые) припои -  $400\text{-}1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Кроме припоя, при пайке применяют флюсы для защиты места спая от окисления при нагреве, обеспечения лучшей смачиваемости места спая расплавленным припоем и растворения оксидов. В качестве флюсов для твердых припоев применяют буру и плавиковый шпат. При пайке мягкими припоями в качестве флюса используют канифоль, хлористый цинк, нашатырь или фосфорную кислоту. Пайку точных соединений осуществляют без флюса в защитной атмосфере или вакууме.

Процесс пайки состоит из:

- 1) подготовки сопрягаемых поверхностей под пайку;
- 2) сборки;
- 3) нанесения флюса и припоя;
- 4) нагрева места спая;
- 5) промывки и зачистки шва.

Места под спай зачищают от коррозии, промывают и обезжиривают. Зазор между сопрягаемыми поверхностями в соединении выдерживают в определенных пределах, так как от него зависят диффузионный обмен металла припоя с металлом деталей и прочность соединения. Так при пайке легкоплавкими припоями  $0,025\text{-}0,075\text{ мм}$ , при пайке серебряными припоями -  $0,05\text{-}0,08\text{ мм}$ , при пайке медью -  $0,012\text{-}0,014\text{ мм}$ . Припой фиксируется относительно места спая в виде фольговых прокладок, проволочных контуров, лент, паст с флюсом. Собранные соединения закрепляют во избежание относительного смещения деталей во время нагрева.

Различаются способы пайки: газовая, погружением (в металлическую или соляную ванну), электрическая (индукционная, контактная), в печах, ультразвуковая. В индивидуальном и мелкосерийном производстве применяется местный нагрев посредством паяльника или газовой горелки. В крупносерийном и массовом производстве детали нагревают в ваннах и

газовых печах или индукционным нагревом ТВЧ.

При пайке алюминиевых деталей применяют ультразвуковой нагрев, так как высокочастотные колебания в расплавленном припое разрушают оксидную пленку и отпадает необходимость во флюсе.

**Склеивание** - метод получения неподвижных неразъемных соединений, при котором между сопрягаемыми поверхностями вводится слой клея, способного благодаря силам адгезии скреплять эти детали. **Преимущество** склеивания - возможность получения соединений из разнородных материалов (металлов и неметаллов). **Недостатки** - низкая термостойкость, склонность к старению, необходимость в ряде случаев нагрева соединения при склеивании.

Этапы склеивания:

- 1) подготовка поверхности;
- 2) нанесение клея;
- 3) выдерживание и подсушивание клеевого слоя;
- 4) соединение деталей и создание условий для отверждения клея;
- 5) контроль соединения.

Подготовка поверхностей к склеиванию состоит в пригонке и очистке путем травления, дробеструйной и пескоструйной обработки, обезжиривании.

Для нанесения клеев используют кисть, пульверизатор, ролик, покрытый фетром, специальные шприцы или установки.

После нанесения клея предусматривается открытая выдержка для удаления растворителей и подсушивание. Далее производится сборка и отверждение (обычно с выдержкой под давлением и подогревом).

Контроль клеевого соединения осуществляется путем осмотра, простукивания или ультразвуковыми методами.

#### 3.4.4. Сварные соединения

Их прочность обычно не ниже клепаных, но они менее трудоемки и более технологичны. Сварные конструкции обеспечивают снижение массы и повышение коэффициента использования материала.

Способы сварки: контактная (точечная и шовная); дуговая (полуавтоматическая и автоматическая под слоем флюса, в среде защитных газов); ультразвуковая; электронным лучом; плазменная и др. Для сварки деталей из пластмасс используют тепловые виды сварки и сварку токами высокой частоты.

Для технологичности должна быть обеспечена равнотолщинность свариваемых элементов (рисунок 3.13а, б). Необходимо предусмотреть специальную разделку кромок при толщине  $S > 3-4$  мм (рисунок 3.13в, г). Сварные швы должны быть правильно расположены: недопустимы их скученность, наличие потолочных и перекрещивающихся сварных швов.

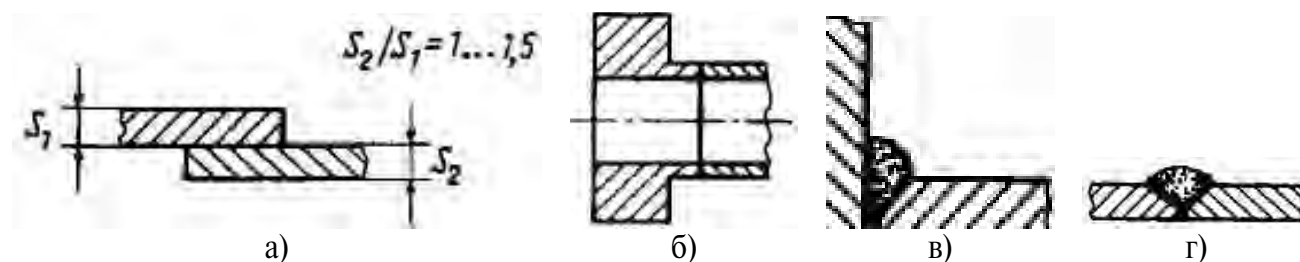


Рисунок 3.13 – Примеры сварных конструкций

Чтобы исключить коробление конструкции выбирают рациональную последовательность выполнения сварных швов, оптимальные режимы процесса и качественные электроды. При взаимноперпендикулярных сварных швах сначала проваривают все параллельные швы, а затем

перпендикулярные. На рисунке 3.14а цифрами показана последовательность выполнения сварных швов. Так как поперечная усадка шва в конце больше, чем в начале, то ребра следует приваривать маятниковым наложением шва (рисунок 3.14б). Если известно направление поводки, то свариваемые детали перед сваркой изгибают в обратном направлении (рисунок 3.14в, г). Возникшие остаточные напряжения после сварки необходимо снять отжигом. Для облегчения сварочных работ вначале свариваемые элементы прихватывают.

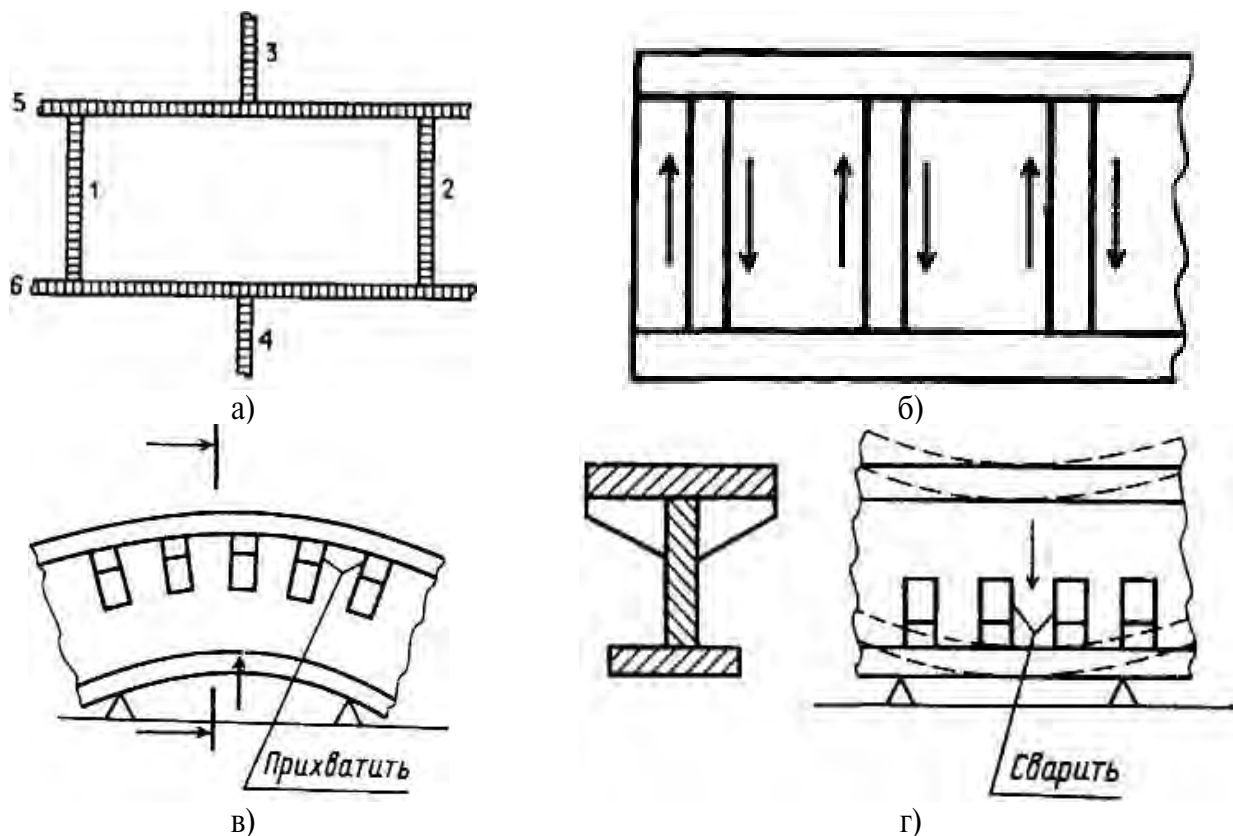


Рисунок 3.14 – Варианты рационального выполнения сварных швов

В мелкосерийном производстве широко применяют механизированные универсально-сборные приспособления, в крупносерийном и массовом производствах – полуавтоматические и автоматические сварочные установки.

Качество сварных швов контролируют визуально (наружный осмотр), методом дефектоскопии, ультразвуком.

### 3.4.5. Клепанные соединения

Применяются там, где соединяются детали из плохо свариваемых материалов и невыгодно использовать резьбовые детали. Типы заклепок, применяемых в узлах машин, показаны на рисунке 3.15. Материал заклепок – сталь, медь, латунь и алюминиевые сплавы. В соединяемых деталях отверстия под заклепки сверлят заранее. Одновременное сверление двух деталей в сборе применяют при повышенной точности совпадения отверстий.

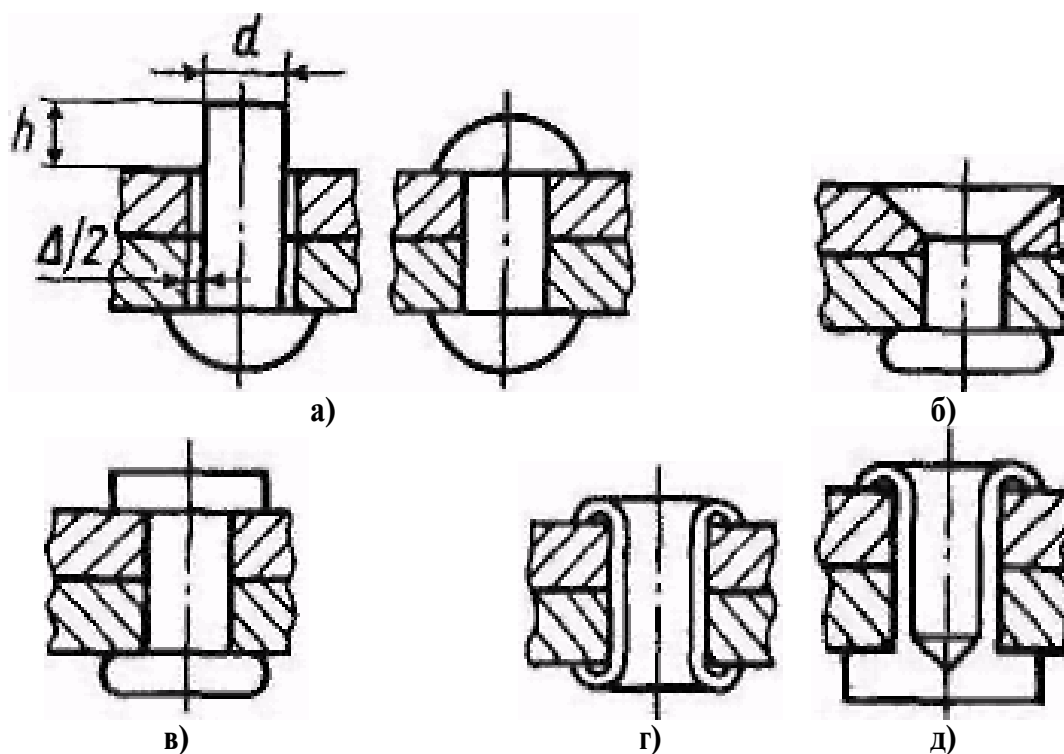


Рисунок 3.15 – Требования к заклепочному соединению и виды заклепок:  
а-в – стержневые; г – трубчатые; д – полутрубчатые заклепки

При установке заклепок отверстия соединяемых деталей должны быть совмещены с требуемой точностью, а диаметральный зазор  $D$  (рисунок 3.15) между телом заклепки и соединяемыми деталями необходимо выдерживать равным 0,2 мм (при  $d < 6$  мм), 0,25 мм (при  $6 < d < 10$  мм) и 0,3 мм (при  $10 < d < 18$  мм). Иначе возможен изгиб стержня заклепки, смещение деталей, а при переменных нагрузках быстрый износ и разрушение соединения. Качество соединения зависит от длины заклепки – выступающая часть стержня должна быть в пределах 1,3-1,6  $d$  в зависимости от формы головки. Для уменьшения смещений отверстий в соединяемых деталях клепку выполняют не последовательно, а взброс или одновременно.

Заклепочные соединения выполняют на механических клепальных машинах и прессах. Прочность заклепочного соединения зависит от размеров и формы замыкающей головки. Плоские головки заклепок контролируют по высоте и диаметру (рисунок 3.16а), а потайные – линейкой и щупом (рисунок 3.16б).

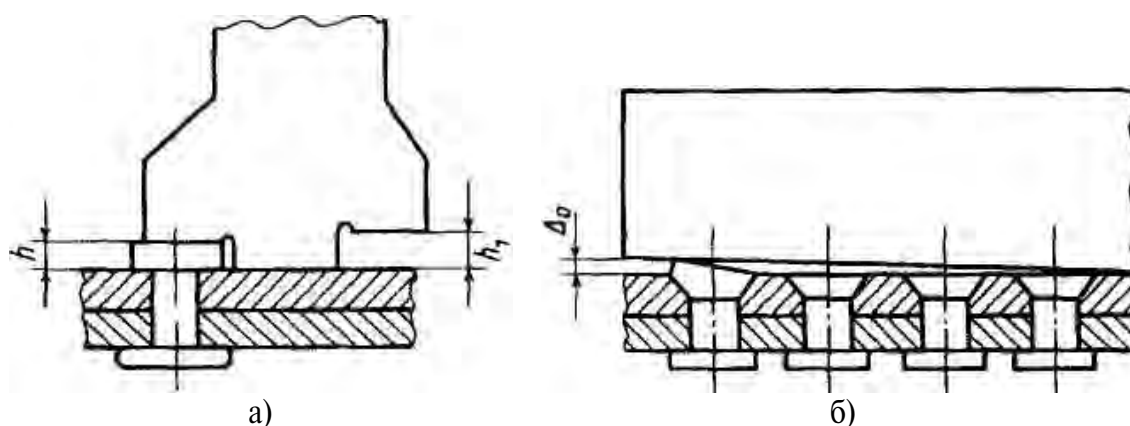


Рисунок 3.16 – Контроль качества заклепок:  
а – высоты плоской головки, б – положения потайной головки

Встречаются неподвижные соединения, осуществляемые путем расклепывания одной из собираемых деталей. Сложность сборки заключается в необходимости точности взаимного положения собираемых деталей, поэтому в этих случаях применяют специальные сборочные

приспособления. Выполнение таких соединений очень трудоемко и клепку часто заменяют на раскатку (рисунок 3.17). Один конец такой оси-заклепки раскатывают в приспособлении, затем устанавливают в отверстие деталей и раскатывают второй конец. Раскатку выполняют специальной головкой (рисунок 3.17б) на сверлильном станке.

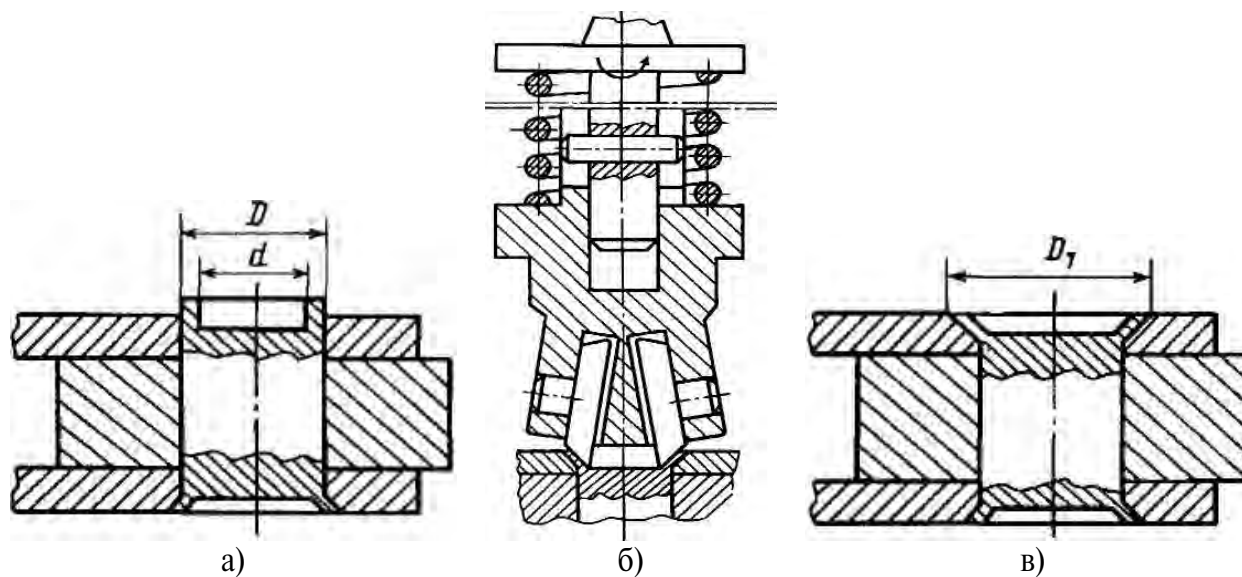


Рисунок 3.17 – Заклепка:  
а – до раскатки; б – в процессе раскатки; в – после раскатки

## 4. ТЕХНОЛОГИЯ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

### 4.1. Оптические материалы и их свойства

Оптические детали изготавливают в основном из оптического (бесцветного и цветного), а также органического и кварцевого стекол и искусственных кристаллов. Характеристиками оптических материалов являются ряд показателей и требований:

- показатель преломления ( $n_e$ ) для зеленой линии  $e$  в спектре ртути ( $\lambda = 546,07$  нм) и его предельное отклонение ( $n_e$ ) от номинального значения;
- средняя дисперсия ( $n_F - n_C$ ) - разность показателей преломления для длин волн 480,0 и 643,8 нм в спектре кадмия (крайних участков - синего и красного видимой части спектра) и ее предельное отклонение ( $n_F - n_C$ ) от номинального значения;
- коэффициент средней дисперсии  $\nu = (n_e - 1) / (n_F - n_C)$ ;
- оптическая однородность - однородность стекла заготовки по показателю преломления;
- бессвильность - однородность стекла по показателю преломления и др.

#### 4.1.1. Оптическое стекло

Основной составляющей частью подавляющего большинства стекол является кремнезем  $\text{SiO}_2$ , к которому добавляют различные окислы.

Оптическое стекло бывает двух основных видов: крон ( $n_e = 1,47-1,57$ ;  $\nu = 70-55$ ) и флинт ( $n_e = 1,55-1,65$ ;  $\nu = 44-34$ ), отличающиеся между собой химическим составом и величиной показателя преломления  $n_e$  и средней дисперсии ( $n_F - n_C$ ) (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Типы и марки оптического бесцветного стекла

| Тип стекла                   | Пример | Показатель преломления, $n_e$ | Коэффициент средней дисперсии, $\nu$ | Характерная примесь                               |
|------------------------------|--------|-------------------------------|--------------------------------------|---|
| Легкие кроны ЛК              | ЛК6    | 1,4721                        | 66,64                                | $\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{KHF}_2$          |
| Фосфатные кроны ФК           | ФК11   | 1,5218                        | 68,93                                | 70% $\text{P}_2\text{O}_5$                        |
| Кроны К                      | К8     | 1,5183                        | 63,87                                | >5% $\text{Ba}_2\text{O}_3$                       |
| Баритовые кроны БК           | БК6    | 1,5421                        | 59,4                                 | >15% $\text{BaO}$                                 |
| Тяжелые кроны ТК             | ТК16   | 1,6152                        | 58,08                                | >30% $\text{BaO}$                                 |
|                              | ТК21   | 1,65996                       | 50,82                                | То же   |
| Сверхтяжелые кроны СТК       | СТК9   | 1,74605                       | 50,01                                | >10% $\text{La}_2\text{O}_3$                      |
|                              | СТК3   | 1,6622                        | 57,09                                | То же   |
| Кронфлинты                   | КФ7    | 1,5200                        | 50,87                                | 3-15% $\text{PbO}$                                |
| Баритовые флинты БФ          | БФ25   | 1,61085                       | 45,82                                | >5% $\text{PbO}$ и $\text{BaO}$                   |
| Тяжелые баритовые флинты ТБФ | ТБФ4   | 1,78362                       | 37,82                                | 10% $\text{La}_2\text{O}_3$                       |
| Легкие флинты ЛФ             | ЛФ5    | 1,57833                       | 41,03                                | 15-40% $\text{PbO}$                               |
| Флинты Ц                     | Ф1     | 1,61683                       | 36,69                                | 40-50% $\text{PbO}$                               |
| Тяжелые флинты ТФ            | ТФ5    | 1,7617                        | 27,32                                | 50% $\text{PbO}$                                  |
| Сверхтяжелые флинты СТФ      | СТФ11  | 2,07108                       | 16,50                                | 75% $\text{PbO}$                                  |
| Особые флинты ОФ             | ОФ1    | 1,5319                        | 51,57                                | $\text{Ba}_2\text{O}_3$ , $\text{Sb}_2\text{O}_3$ |

#### 4.1.2. Цветное стекло

Предназначено для изготовления различных светофильтров, защиты глаз от вредного светового воздействия и т. п. Цветное оптическое стекло отличается высокой однородностью и строгим соответствием значений пропускания заданной в ГОСТ спектральной кривой. В зависимости от спектральных свойств стекло разделяют на следующие типы: ультрафиолетовое (УФС); фиолетовое (ФС), синее (СС); сине-зеленое (СЗС), желто-зеленое (ЖЗС); желтое (ЖС); оранжевое (ОС); красное (КС); инфракрасное (ИКС); пурпурное (ПС); нейтральное (НС); темное (ТС); бесцветное (БС).

#### 4.1.3. Органическое стекло

Один из видов пластмасс. Большое распространение получил метилметакрилат (по показателю преломления и дисперсии соответствует стеклу крон) для получения прессованием или отливкой неотчетственных оптических деталей. Реже применяется полистирол и полидихлорстирол, которые по оптическим характеристикам соответствуют стеклу флинт. Из-за его мягкости не удается достигнуть высокой чистоты поверхности, детали легко царапаются и со временем желтеют.

#### 4.1.4. Ситалл

Закристаллизовавшееся стекло. В прозрачном ситалле величина кристаллов 0,1 мкм и в непрозрачном - 1,5 мкм. Твердость по шкале Мооса до 8. Источником кристаллизации является или один из компонентов стекла, или специальная примесь - окислы титана, лития, магния, медь, серебро, золото. Окрашен в желтоватый цвет, фиолетовую часть спектра пропускает плохо, а в видимой части имеет светопоглощение 10-15%. Используется для изготовления калибров, пробных стекол, концевых мер, защитных стекол и т. п.

#### 4.1.5. Кристаллы оптические

В отличие от оптического стекла имеют хорошее пропускание в более широкой области спектра, малую дисперсию, большой коэффициент средней дисперсии. **Недостатки** кристаллов: низкая твердость, что затрудняет полировку и получение чистых поверхностей; неоднородность (оптическая и механическая); гигроскопичность и растворимость, трудность и дороговизна выращивания. В основном используются хлористый калий (сильвин) и хлористый натрий (каменная соль), фтористые литий и кальций (флюорит), германий, кремний, сапфир (корунд, рубин, лейкосапфир).

#### 4.1.6. Оптическая керамика (иртраны)

Получается горячим прессованием чистых химических соединений: фторида магния (КО-1, иртран-1), сульфида цинка (КО-2, иртран-2), окиси магния (КО-5) и теллурида кадмия (КО-6), представляет собой новый класс оптических материалов. Они имеют поликристаллическую структуру с зернами размером в несколько микрометров, поэтому механически и оптически изотропны; обладают высокой механической прочностью при температурах до 600- 800° С, устойчивы к воде и кислотам.



## 4.2. Заготовки оптических деталей

Заготовки из оптического стекла получают в виде прямоугольных или круглых пластин, плиток, штабиков и прессовок (рисунок 4.1). На обработку заготовки поступают партиями, состоящими из заготовок одного наименования и размера. При обработке нельзя смешивать заготовки разных партий, так как при сборке изделия оптические детали комплектуют с учетом фактических значений показателя преломления и дисперсии.

Наиболее рациональной заготовкой деталей типа линз и призм является прессовка (рисунок 4.1д), повторяющая конфигурацию готовой детали. Для их изготовления необходимы пресс-форма, шаблоны, что окупается только при прессовании большого числа заготовок.

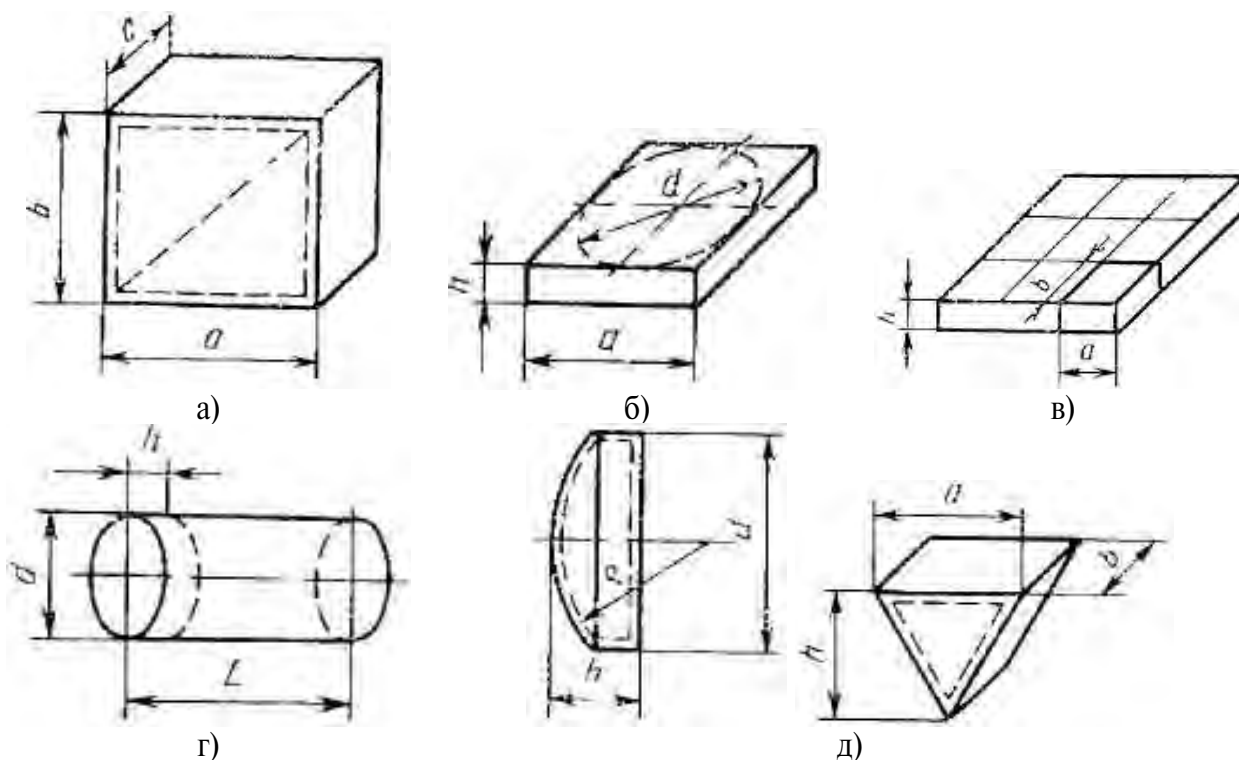


Рисунок 4.1 – Заготовки оптических деталей:

а – прямоугольная пластина; б – плитка для круглых деталей; в – плитка с размерами, кратными размерам единичной заготовки; г – штабик с круглым сечением; д – прессовки линзы и призмы

### 4.2.1. Разделка стекла раскалыванием, распиливанием, сверлением

Раскалыванием стекла получают плоские заготовки с размером в плане более 1,5 толщины.

Перед раскалыванием по линии разметки алмазным резцом, или роликом из твердого сплава ВК8, делают надрезку - царапину, что ослабляет прочность поверхностного слоя стекла. Стекло толщиной более 8 мм раскалывают на колочных гидравлических прессах (рисунок 4.2). Плитку стекла 7 укладывают на стол пресса 6 надрезом вверх, ориентируя линию надреза по пластмассовому жгуту 5, закрепленному на стальной призме стола. На нижнем конце штока 2 гидроцилиндра закреплен суппорт 1 с двумя раздвижными кулачками 8. При ходе штока вниз кулачки упираются в плитку на расстоянии  $L$ , что создает изгибающий момент скалывания  $M = NL / 2$ , где  $N$  - усилие пресса. Расстояние  $L$  между кулачками изменяют, вращая рукоятку 3 винта. Стол пресса покрыт слоем губчатой резины 4, чтобы избежать сколов на ребрах заготовок.

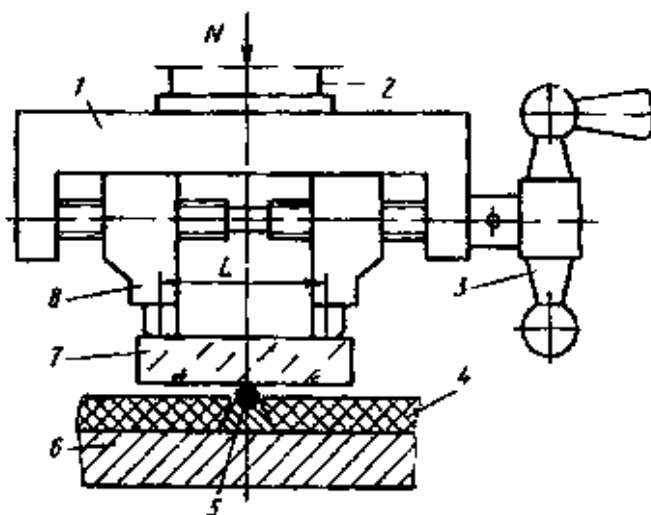


Рисунок 4.2 – Раскалывание стеклянной плитки на колочном прессе

Раскалывание производительно и не требует сложного оборудования и инструмента. Однако с увеличением толщины стекла растет вероятность непрямолинейности и увода по толщине плоскости раскалывания, что увеличивает припуск на обработку стекла.

**Распиливанием** получают заготовки в виде пластин, клиньев, призм из стекла, оптических кристаллов.

Для распиливания применяют отрезные круги, полосовые пилы, гибкий инструмент и др., имеющие режущую кромку или поверхность, содержащую зерна алмаза, вкрапленные в металлическую связку. Для снижения в стекле термических напряжений и трещин в зону резания обильно подают СОЖ.

**Разделка стекла сверлением.** Сверлением стекла алмазными трубчатыми сверлами (рисунок 4.3а) получают цилиндрические заготовки диаметром 15-300 мм в единичном или мелкосерийном производстве. В качестве заготовок используется керн 2 диаметром  $d$ , равным внутреннему диаметру сверла. Сверлением получают также заготовки из тонких стеклянных пластин толщиной 1-8 мм в крупносерийном производстве.

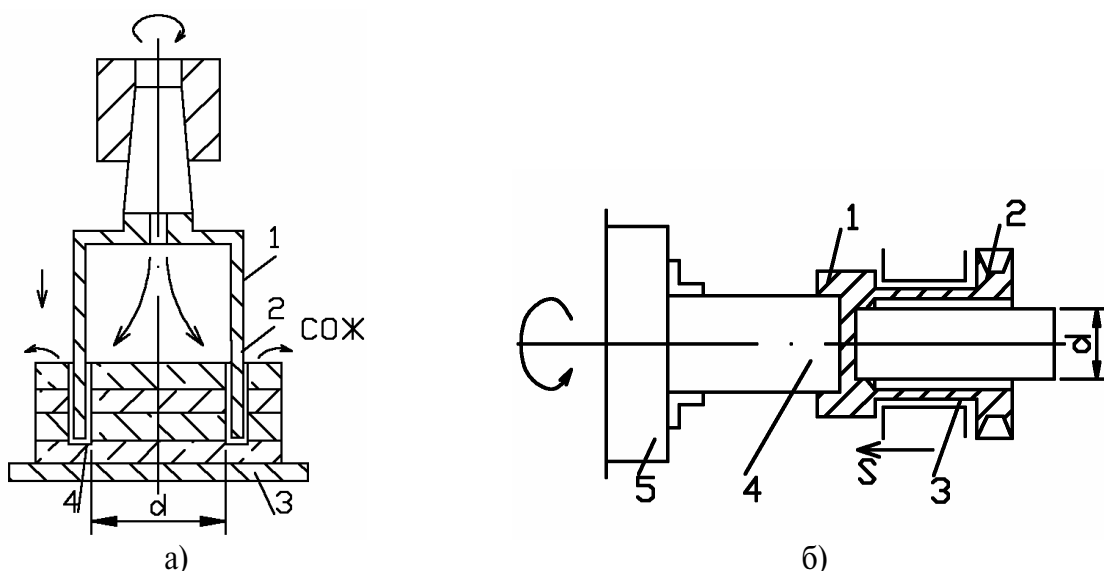


Рисунок 4.3 – Сверление заготовок:  
а – алмазным трубчатым сверлом; б – корончатым сверлом

Пластины склеивают в столбик вместе с подложкой 3 из листового технического стекла и крепят в приспособлении на столе вертикально-сверлильного станка. Трубчатое сверло - это корпус 1 с хвостовиком, на торце которого напаивается алмазная коронка 4. СОЖ подается

через внутреннюю полость сверла и выходит с шламом через прорези на торце коронки. Стеклоподложка 3 предохраняет нижнюю заготовку от сколов на выходе сверла в конце процесса сверления.

Для изготовления цилиндрических заготовок длиной  $L > (8-10)d$  используют метод кругления корончатом сверлом (рисунок 4.3б) Заготовка 4 в виде бруска с квадратным сечением крепится в патроне 5 станка. Корончатое алмазное сверло 1 вращается в корпусе 3 режущей головки от индивидуального привода с ременной передачей на шкив 2. При одновременном вращении бруска и сверла осуществляется снятие припуска и кругление заготовок по диаметру  $d$ .

#### 4.2.2. Горячее формообразование заготовок

**Свободное моллирование.** Наиболее простой метод горячего формообразования заготовок из стекла (рисунок 4.4а). Бесформенный кусок 3 стекла, по массе равный массе заготовки 4, укладывают в футерованную керамикой 2 металлическую форму 1 и нагревают в печи до температуры, соответствующей вязкости стекла  $10^7$  Пас. Стекло под действием силы тяжести растекается и заполняет внутреннюю полость формы. Так моллируют заготовки размерами более 200 мм и массой свыше 2 кг.

**Принудительное вакуумное моллирование.** Формование плоской заготовки 1 (рисунок 4.4б) в форме 3 происходит под действием избыточного давления  $\Delta p$ , создаваемого при откачке воздуха вакуумным насосом из полости между заготовкой и формой, чем этот процесс и отличается от свободного моллирования. Осуществляют при вязкости стекла  $10^8-10^9$  Пас. При такой вязкости микронеровности формы на горячей поверхности стекла не отпечатываются. Если взять плоскую заготовку с полированной поверхностью, то после принудительного моллирования полированная поверхность на отформованной заготовке 2 сохраняется.

Принудительным моллированием изготавливают заготовки диаметром 40-500 мм и толщиной 2-20 мм оптических деталей типа зеркал, обтекателей, иллюминаторов.

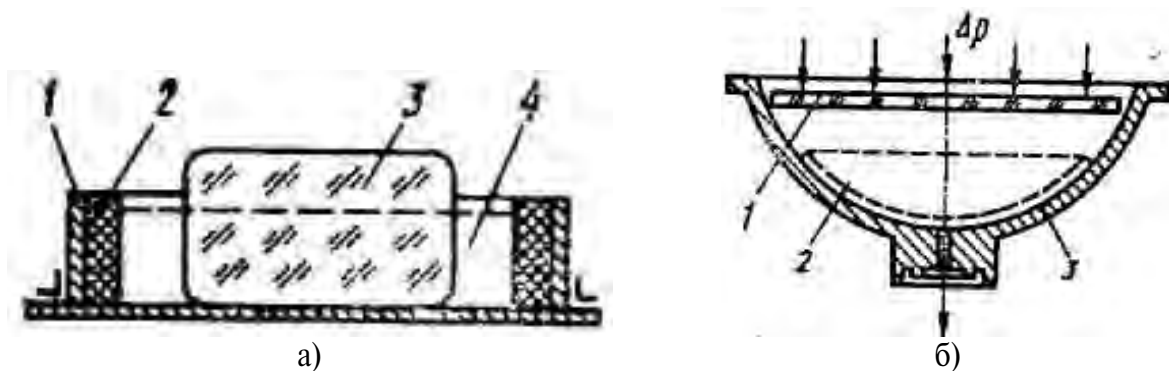


Рисунок 4.4 – Моллирование:  
а – свободное; б – принудительное

**Прессование из нарезок.** Нарезки - куски стекла прямоугольной или цилиндрической формы с массой, равной массе будущей заготовки. Отобранные куски стекла распиливают на плитку толщиной  $h$  (рисунок 4.5а), поверхности плитки шлифуют для устранения неровностей. Плитку размечают на прямоугольные нарезки и раскалывают на колочных прессах (рисунок 4.5б). Размер стороны  $a$  квадратной нарезки определяют из соотношения

$$a = \sqrt{m/\rho h}, \text{ см,}$$

где  $m$  -масса нарезки, г;

$\rho$  - плотность стекла, г/см<sup>3</sup>;

$h$  - толщина плитки, см.

Если масса нарезки более предусмотренной осуществляют подгонку массы заточкой острых граней и вершин на алмазных кругах (рисунок 4.5в). Острые грани нарезок притупляют также в галтовочных барабанах с водной суспензией абразивных порошков (рисунок 4.5г).

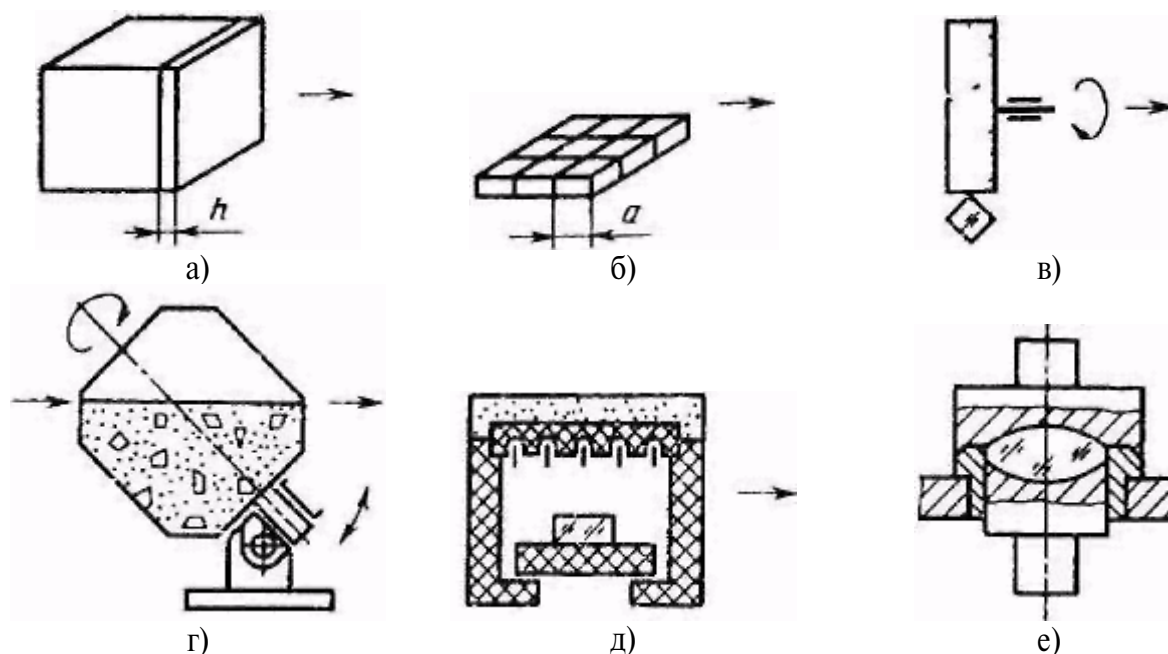


Рисунок 4.5 – Прессование заготовок из нарезок:

а – распиливание стекла на плитки; б – раскалывание плитки на нарезки; в – обточка острых граней; г – галтовка; д – разогрев нарезки; е – прессование

Подготовленные к прессованию нарезки укладывают поштучно в печь (рисунок 4.5д), разогревают до температуры пластической деформации стекла и прессуют в форме на пневматическом прессе (рисунок 4.5е). При разогреве во избежание прилипания стекла к керамическому поду печи на него насыпают шамот, глинозем или другие огнеупорные материалы. При разогреве частички шамота прилипают к стеклу, и после прессования сторона заготовки, лежащая на поду печи, получается непрозрачной - «зашамоченной». Толщина дефектного слоя прессовки с шамотной стороны в 1,3-1,6 раза больше, чем с обратной - «светлой». Предпочтительнее начинать обработку оптической детали с шамотной стороны.

Формующие части пресс-формы: пуансон, матрицу и поддон-выталкиватель - разогревается до температуры 400-500<sup>0</sup> С, чтобы избежать появления на заготовках поверхностных термических трещин - посечек.

**Прессование из жидкой стекломассы.** Стекло варят в агрегате непрерывного действия, представляющего собой каскад платиновых сосудов, соединенных между собой платиновыми трубами. Последний выработочный сосуд имеет вертикальный сливной патрубок 1 (рисунок 4.6а), обогреваемый нагревателем 2. Скорость истечения стекла регулируется сечением отверстия фильеры 3, установленной на конце патрубка, и температурой нагревателя 2. Пресс-формы 7 закреплены на столе 6 12-позиционного пресса таким образом, что на позиции налива стекла полость пресс-формы находится под сливным патрубком.

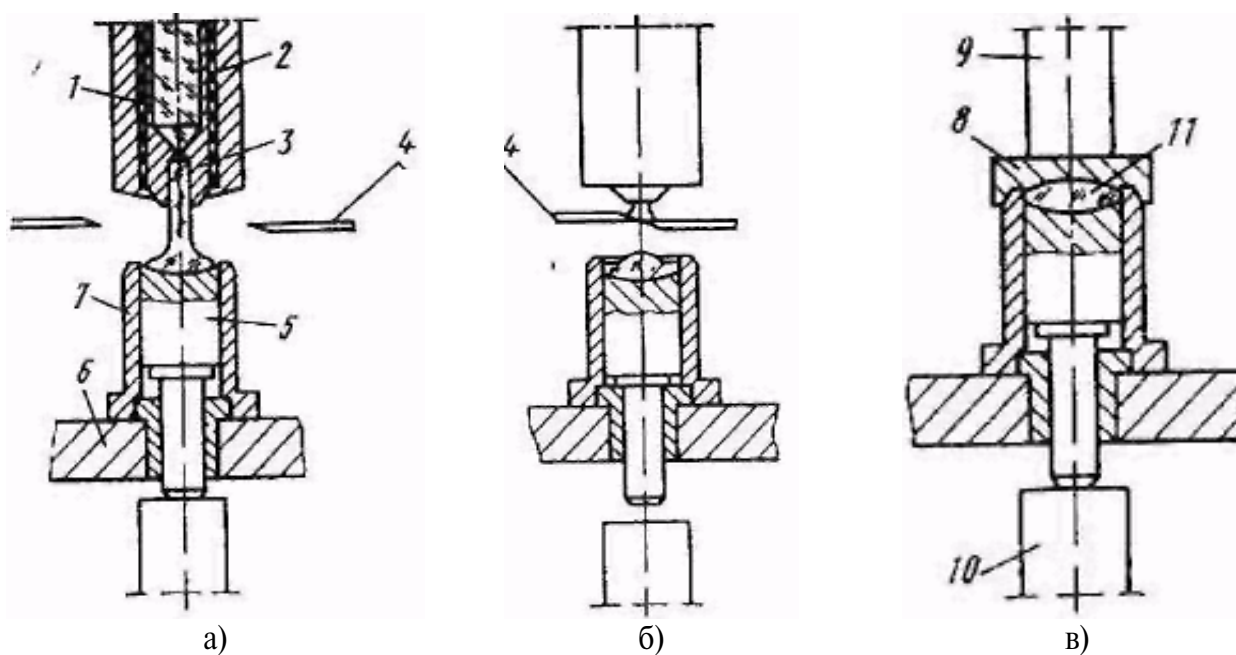


Рисунок 4.6 – Прессование из жидкой стекломассы:  
а – налив порции стекла; б – отрезка; в – прессование

В начале заполнения полости пресс-формы жидкой стекломассой нижний пуансон 5 приподнят и по мере подачи опускается, чтобы сохранить постоянным расстояние от фильеры до поверхности стекломассы. Это значительно уменьшает вероятность образования «нахлестов» при падении струи стекла. После наполнения формы нож 4 (рисунок 4.6б) отрезает от струи порцию стекла, и стол пресса поворачивается на  $1/12$  часть окружности.

На позиции прессования (рисунок 4.6в) движением штока 9 пневмоцилиндра верхний пуансон 8 закрывает форму. Формообразование заготовки 11 осуществляется нижним пуансоном 5 (рисунок 4.6а) - выталкивателем, перемещающимся от пневмоцилиндра 10.

Жидкая стекломасса не соприкасается с подом нагревательных печей, поэтому поверхности заготовок получаются чистыми, без «шамотного» слоя и с глубиной дефектного слоя не более 0,2-0,4 мм

Прессованием из жидкой стекломассы изготавливают заготовки партиями более 100 тыс. шт.

#### Тонкий отжиг заготовок

Последняя операция технологического процесса изготовления заготовок оптических деталей. Его цель - снизить остаточные термические напряжения в стекле, т. е. ликвидировать физические неоднородности и получить заготовки с одинаковыми для данной партии значениями показателей преломления и дисперсии.

### 4.3. Абразивные, полирующие и вспомогательные материалы

#### 4.3.1. Шлифующие абразивы естественного и искусственного происхождения

Существуют абразивные материалы естественные (природные) и искусственные (синтетические). К естественным абразивам относятся алмаз, корунд, наждак и кварцевый песок.

К искусственным абразивным порошкам относятся синтетический алмаз, карборунд, электрокорунд, карбид бора и боразон.

### 4.3.2. Зернистость и зерновой состав абразивов

Все абразивные материалы, кроме алмаза и нитрида бора, в зависимости от способа классификации условно делятся на два класса. К первому относятся абразивные материалы, получаемые рассевом на ситах, ко второму - гидроклассификацией (зерна абразива различного размера выносятся из сосуда потоком воды, движущейся с различной скоростью). Первые делят на две группы - шлифзерно и шлифпорошки, продукты второго класса называют микропорошками. Каждая из этих групп делится на порошки разной зернистости, которым присвоены номера, соответствующие размеру зерен основной фракции (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Классификация абразивных материалов на группы

| Группа абразива | Обозначение зернистости | Размер зерна основной фракции, мкм | Размер стороны ячейки в свету, мкм | Область применения                     |        |
|-----------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--|--------|
| Шлифзерно       | 25                      | 315-250                            | 250                                | Грубое шлифование (обдирка)            |        |
|                 | 20                      | 250-200                            | 200                                |  |        |
|                 | 16                      | 200-160                            | 160                                |  |        |
| Шлифпорошки     | 12                      | 160-125                            | 125                                | Rz = 80-16 мкм                         |        |
|                 | 10                      | 125-100                            | 100                                |  |        |
|                 | 8                       | 100- 80                            | 80                                 |  |        |
|                 | 6                       | 80- 63                             | 63                                 | Среднее шлифование                     |        |
|                 | 5                       | 63- 50                             | 50                                 |  |        |
|                 | 4                       | 50- 40<br>40- 28                   | 40<br>28                           |  |        |
| Микропорошки    | M63                     | 63- 50                             |                                    | От Rz 16 до Ra 1,0 мкм                 |        |
|                 |                         | 50-40                              |                                    |  |        |
|                 |                         | 40- 28                             |                                    |  |        |
|                 | M40<br>M28              | 28- 20                             |                                    | Мелкое шлифование<br>Ra = 1,0-0,04 мкм |        |
|                 |                         | M20                                |                                    |  | 20- 14 |
|                 |                         | M14                                |                                    |  | 14- 10 |
|                 |                         | M10                                |                                    |  | 10- 7  |
|                 |                         | M7                                 |                                    |  | 7- 5   |
|                 |                         | 115                                |                                    |  | 5- 3   |

Для первых двух групп абразивных материалов характеристикой крупности являются размеры ячеек двух смежных сит, из которых на одном сите зерно основной фракции задерживается, а через второе сито зерно должно проходить.

Абразивные порошки одной и той же зернистости выпускают с различным содержанием основной фракции. В зависимости от этого в обозначение порошка после номера вводят одну из букв: В, П, Н, Д. Буква В характеризует порошок с наибольшим содержанием основной фракции, буква Д - с наименьшим. В зерновой состав порошков, кроме основной, входят побочные фракции: предельная, крупная, мелкая. Мелкая фракция не оказывает влияния ни на интенсивность шлифования, ни на шероховатость шлифуемой поверхности. Основная фракция определяет интенсивность износа, а крупная определяет шероховатость шлифуемой поверхности. Т.к. предельной фракции в порошке не более 0,2%, то она не увеличивает шероховатости шлифованной поверхности.

Порошки природного и синтетического алмазов разделены на две группы: шлифпорошки и микропорошки. Шлифпорошок каждой марки разделен на номера зернистости. В порошок каждой зернистости входят три фракции: крупная, основная и мелкая. Зернистость порошка установлена по основной фракции. Ее обозначают дробью, у которой числитель - размер (мкм) стороны ячейки верхнего сита, знаменатель - размер (мкм) стороны ячейки нижнего сита.

Микропорошки природных алмазов имеют марки АМ и АН, синтетических - АСМ и АСН (М - *medium* - средний, Н - *high* - высокий). Микропорошок каждой марки разделен на следующие зернистости: 60/40, 40/28, 28/20, 20/14, 14/10, 10/7, 7/5, 5/3, 3/2, 2/1, 1/0.

Микропорошок марки АСМ с размером зерен меньше 0,7 мкм служит исходным сырьем для изготовления субмикропорошков, которые бывают следующей зернистости: АСМ 0,7/0, 0,5/0 и 0,3/0.

Детали из оптического стекла шлифуют водными суспензиями абразивных порошков. Концентрации суспензий выражают соотношением весовых количеств жидкой (вода) и твердой (абразив) фаз и условно обозначают Ж:Т. Обычно Ж:Т принимают в пределах 2 - 5.

#### 4.3.3. Полирующие абразивы

Применяют для удаления следов шлифования с поверхности стекла и приобретения ею прозрачности с необходимой степенью чистоты. Их твердость 5-7 единиц по шкале Мооса.

Полирующие абразивы изготавливаются искусственно.

Основными полирующими материалами являются: крокус, полирит, окись тория, двуокись циркония, алмазные микропорошки.

Крокус  $Fe_2O_3$  - безводная мелкокристаллическая окись железа, размер зерна 0,6-1 мкм. Твердость 5-6.

Полирит - смесь окислов редкоземельных металлов. Полирующие свойства определяется окисью *церия*  $SeO_2$ . Размер зерен до 5 мкм. Твердость 6-7. Основной полирующий абразив для оптических деталей.

Окись тория  $TiO_2$  - размер зерен до 10 мкм. Имеет высокую полирующую способность, но не обеспечивает хорошей чистоты поверхности. Применяется для быстрого удаления следов шлифования.

Двуокись циркония ( $ZrO_2$ ) - средний размер зерен-3,5-5 мкм. Применяется для полирования стекол СТК, ТК, БФ.

Алмазные микропорошки АСМ и АСН зернистостей 3/2-1/0 и субмикропорошки зернистостей 0,7/0-0,3/0 используются при полировании особо твердых материалов (рубина, сапфира, кремния). При определенной связке, микропорошки применяют для полирования стекла.

#### 4.3.4. Вспомогательные материалы

Это материалы, которые создают условия и обеспечивают выполнение основных, специальных или вспомогательных операций обработки оптических деталей (шлифования, полирования, чистки, лакирования, блокировки и т. п.).

##### 4.3.4.1. Смазочно-охлаждающие жидкости

Применяются для отвода тепла и продуктов обработки, а также уменьшения трения в зоне контакта инструмента и детали. Они участвуют в разрушении стекла путем физико-химического воздействия.

Для оптических деталей используют СОЖ из эмульсола, керосина осветительного и воды.

При центрировании линз алмазными кругами в качестве СОЖ используют веретенное или вазелиновое масла.

При шлифовании оптических деталей свободным абразивом роль СОЖ выполняет сама водная абразивная суспензия, а при полировании водная полировочная суспензия.

#### 4.3.4.2. Наклеечные материалы

Должны обладать достаточной адгезией к материалам заготовок и приспособлений, минимальной их деформацией при наклеивании, легко отставать от заготовок и приспособлений после обработки, растворяться в различных реагентах.

Применяют:

Наклеечные смолы - сплавы необходимой вязкости канифоли, пека, воска, парафина и шеллака в заданном соотношении.

Канифоль - продукт переработки сосновой смолы. Температура размягчения 65-80°C; обладает высокой клеящей способностью, вводится в состав наклеенных и полировочных смол, для твердости и повышения температуры размягчения.

Пек древесный - продукт переработки дегтя. Температура размягчения 50-60°C, применяется для придания эластичности и понижения вязкости смол.

Воск пчелиный - температура плавления около 65°C. Применяется для увеличения пластичности некоторых смол.

Парафин - продукт переработки нефти и бурого угля. Температура размягчения 38 - 65°C. Используют для склеивания деталей на заготовительных операциях.

Шеллак - продукт деятельности тропических насекомых. Температура плавления около 90°C. Вводят в состав особо прочных смол. Применяется также для склеивания малогабаритных деталей на заготовительных операциях.

Все перечисленные вещества растворяются в бензине и ацетоне, а шеллак - в спирта и щелочах.

Смолы готовятся сплавлением исходных компонентов до однородной массы с последующим введением мелко измельченных наполнителей (мел, тальк, гипс, древесные опилки) для увеличения прочности и уменьшения усадки наклеечных смол.

Наклеечный воск - вязкий сплав канифоли (80-90%) и воска (20-10%). Толщина клеящего слоя 0,2-0,3 мм. Используют для склеивания заготовок между собой и крепления их на приспособлениях при заготовительных операциях.

Наклеечные парафины - сплавы парафина (15-20%) и воска (85-80%), обладающие высокой пластичностью и вязкостью. Толщина клеящего слоя 0,05-0,1 мм; используют на заготовительных операциях.

Гипс - использование гипса основано на свойстве его водных растворов спустя время затвердевать и надежно удерживать заготовки силами трения и адгезии.

Сплавы металлов с низкой температурой плавления (например, сплав Вуда: 50 % висмута, 25 % свинца, по 12,5 % олова и кадмия). Их **преимущества**: детали можно разблокировать их погружением в теплую воду без промывки в органических растворителях; многократное использование сплава.

#### 4.3.4.3. Материалы полировальников

Обрабатываемые поверхности полировальников выполняют нанесением или присоединением к металлическим основам инструмента смоляных, волокнистых или синтетических подложек.



Смоляные полировальники позволяют получать наиболее точные поверхности оптических деталей, но при этом необходимо использовать неинтенсивные режимы обработки.

Суконные полировальники допускает интенсивные процессы полирования и обеспечивают высокую оптическую чистоту обрабатываемых поверхностей, но используются для изготовления малоточных по форме деталей.

Достоинства полировальников из синтетических материалов (пенополиуретан) - хорошая смачиваемость их поверхности полирующими составами, высокая износостойкость, значительное сопротивление растягивающим усилиям, теплостойкость, что позволяет обрабатывать точные оптические детали при интенсивных режимах.

#### **4.3.4.4. Защитные лаки и промывочные жидкости**

Защитные покрытия (искусственные лаки и шеллак) предохраняют полированные поверхности от механических повреждений, действия воды, щелочей, кислот). Они должны быстро высыхать и хорошо растворяться в горячей воде, слабых щелочных растворах и т. п.

Для промывки и чистки оптических деталей от защитного лака и крепежных материалов применяют бензин, спирты, эфиры, ацетон.

### **4.4. Инструмент и приспособления для шлифования и полирования**

#### **4.4.1. Абразивные круги**

Для обработки стекла применяют абразивные круги преимущественно из карборунда экстра или прима (КЗ) и иногда из лучших сортов корунда. При изготовлении кругов используют абразивы марок с № 32 до № 6.

Основным типом связки является керамическая. Круги на бакелитовой и вулканитовой связке слишком мягкие и практически не применяются.

Абразивные круги прямого профиля (тип 1 ГОСТ 2424-83) применяются для кругления, центрировки, обработки плоскостей и пазов; диски - для распиливания и обработки пазов и выемок; кольца - для обработки крупных плоскостей и сфер большого радиуса; чашки цилиндрические; сегменты (сборные элементы шлифовальной головки) - для обработки плоскостей.

Для грубого шлифования с удалением больших припусков применяют круги зернистостей № 40-№ 20, с удалением малых припусков и со средней чистотой поверхности - № 20-№ 12; для чистовой обработки пазов, выемок и закруглений - № 12-№ 8; для центрировки крупных деталей - № 8-№ 6; для центрировки мелких деталей - № 6-№ 3.

#### **4.4.2. Инструменты для обработки деталей свободным абразивом и притиры**

Шлифование выполняют свободным абразивом способом свободного притира. Инструментом является шлифовальник (рисунок 4.7), из стали 20 или чугуна СЧ-18-36 - для грубого и среднего шлифования, из латуни ЛС59-1Л - для мелкого шлифования.

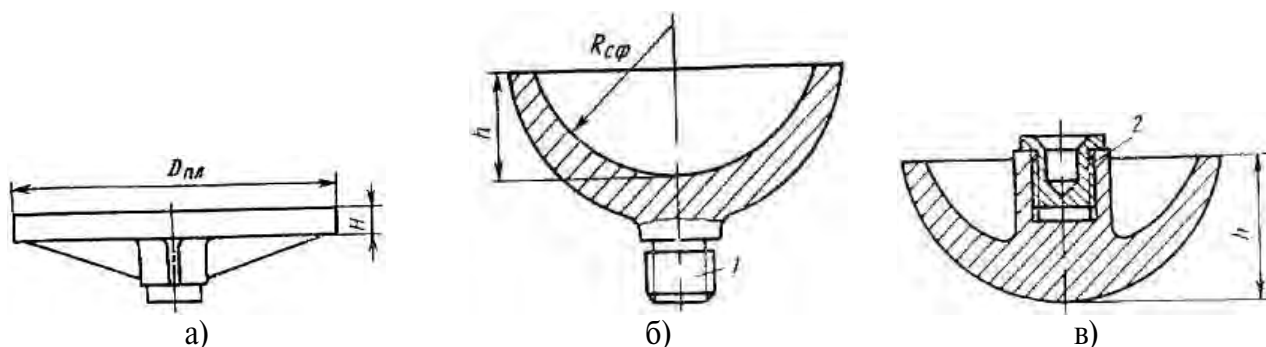


Рисунок 4.7 – Конструкция шлифовальников:  
а – планшайба; б – чашка; в – гриб

Плоские шлифовальники называют планшайбами, выпуклые - для обработки вогнутых поверхностей - грибами, и вогнутые - для шлифования выпуклых поверхностей - чашками. Диаметр шлифовальников выбирают в зависимости от диаметра и расположения обрабатываемого блока: для плоских шлифовальников, расположенных сверху, он равен  $(0,85-0,90)D_6$  и для расположенных снизу -  $(1,5-1,2)D_6$ ; для сферических шлифовальников, расположенных сверху (блок выпуклый) -  $(0,9-1,0)H_6$  и для расположенных снизу (блок вогнутый) -  $(1,5-1,6)H_6$ . Радиус кривизны рабочей поверхности определяется в зависимости от радиуса готовой детали, толщины слоя абразива, зернистости и глубины трещиноватого слоя стекла. Рабочие поверхности шлифовальников могут быть сплошными, кольцевыми или каблучными, т. е. состоящими из отдельных прямоугольной формы элементов, разделенных специально нанесенными канавками. Каблучная поверхность позволяет более равномерно распределить абразивные зерна и, выбирая форму и расположение каблучных элементов по поверхности шлифовальника, влиять на формообразование обрабатываемой поверхности. Шлифовальники имеют резьбу для закрепления на шпинделе станка.

Шлифовальники - грибы, чашки, планшайбы, применяемые для снятия фасок на оптических деталях, называются фасетировочными инструментами.

Полировальный инструмент служит для окончательной обработки - полирования рабочих (исполнительных) поверхностей оптических деталей (рисунок 4.8).

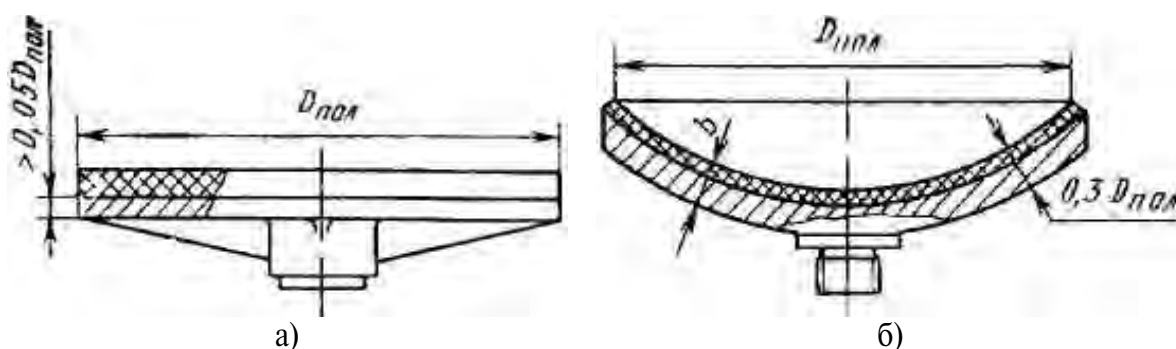


Рисунок 4.8 – Инструмент полировальный:  
а – войлочный; б – смоляной

Состоит из металлического корпуса (чугун СЧ 12-28, сталь 20, алюминиевый сплав АЛ2), на рабочую поверхность которого наносят слой полировочной смолы - при полировании точных деталей, или слой волокнистых материалов - при полировании менее точных деталей. Полировальники по форме, размерам и конструкции крепления на станке аналогичны шлифовальникам. Толщина сукна и фетра для полировальников равна 1,5-2,5 мм. Толщина слоя полировочной смолы зависит от радиуса обрабатываемой поверхности и составляет 1-2 мм при  $D \geq 5-30$  мм; 2-3 мм при  $D = 30-80$  мм и 3-5 мм при  $D > 80$  мм. Для изменения характера споллировывания в пределах детали или блока производится «подрезка» полировальника: на его поверхность наносят кольцевые или спиральные канавки или делают эту поверхность каблучной.

К инструментам для обработки оптических деталей относят и притирочные инструменты - планшайбы, грибы и чашки, к которым притираются заготовки после среднего шлифования для блокировки смолой или гипсом для мелкого шлифования и полирования притираемой поверхности блоком и свободным абразивом - при эластичном способе.

#### 4.4.3. Инструмент и приспособления для крепления заготовок

Бывают двух типов: для крепления одиночных деталей при поштучной обработке и для крепления группы деталей, образующих вместе с приспособлением блок.

Для крепления оптических линз на операциях шлифования применяют вакуумные и мембранные патроны.

**Вакуумный патрон** (рисунок 4.9а) - это оправка 2, накрученная на резьбовой конец шпинделя 1 станка. На верхнем торце оправки протачивается сферическое гнездо с радиусом, равным радиусу посадочной поверхности детали. Между деталью 3 и посадочным гнездом оправки укладывают эластичную прокладку 4 толщиной 1,5-2 мм. Когда из полости патрона через центральное отверстие в шпинделе откачивают вакуум-насосом воздух, над деталью создается избыточное давление воздуха, прижимающее ее через прокладку к гнезду оправки.

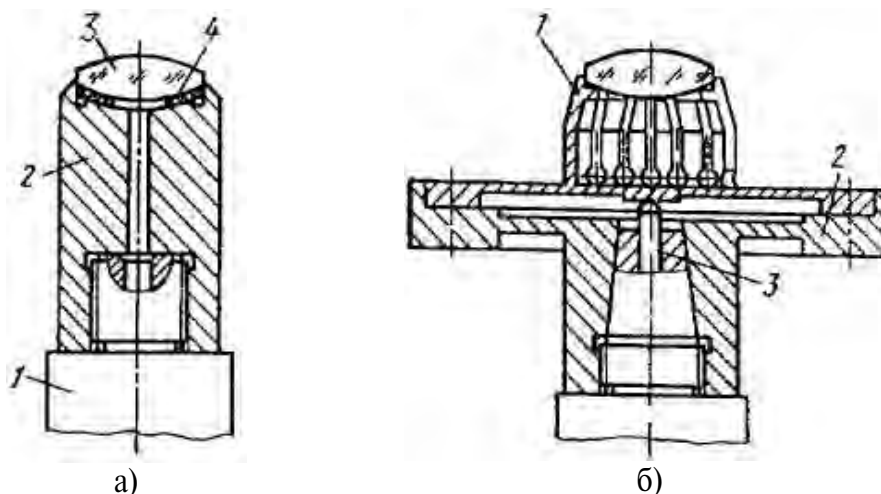


Рисунок 4.9 – Патроны для механического крепления линз:  
а – вакуумный; б – мембранный

**Мембранный патрон** (рисунок 4.9б) состоит из корпуса 2, закрепленного на шпинделе станка, и мембраны с разрезной цангой 1. При нажатии штока 3 на мембрану губки цанги расходятся и диаметр посадочного пояса цанги увеличивается, в цангу укладывают линзу. После снятия усилия штока губки цанги сжимают деталь по поверхности цилиндрического пояса.

**Приспособления с механическим креплением заготовок** применяют на операциях обработки граней призм, кругления дисков и т. п. Приспособление для обработки трех граней призм на плоскошлифовальном станке (рисунок 4.10) состоит из корпуса 4 и двух торцевых планок 5, прикрепленных к корпусу винтами. Обрабатываемые заготовки 3, склеенные в столбик, укладывают в приспособление и зажимают винтом 1 через шарик, металлическую пластинку и эластичную прокладку 2. Грани призм обрабатывают, последовательно устанавливая приспособление на столе станка плоскостями А, В и В.

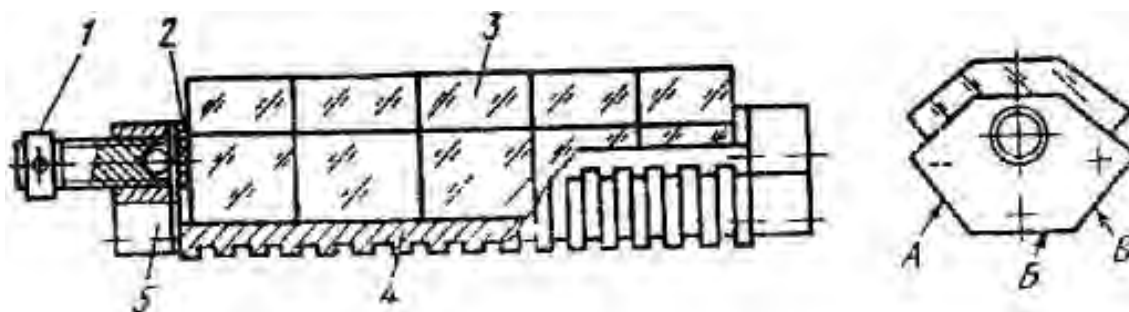


Рисунок 4.10 – Приспособление для механического крепления призм сжатием

Для группового крепления деталей используют гипсование, наклейку смолой и посадку на оптический контакт.

**Гипсованием** (рисунок 4.11а) крепят призмы с невысокими требованиями к точности изготовления углов ( $>3'$ ) и пластины. Детали 4 притирают к поверхности плоской планшайбы 5, промежутки засыпают тонким слоем опилок, накрывают корпусом 2 и через отверстия 1 в корпусе заливают полость 6 гипсовым раствором. Для обеспечения зазора  $a$  между поверхностями деталей и ободом корпуса устанавливают на прокладочное кольцо 3. После затвердевания гипса корпус с деталями снимают с планшайбы и промежутки между заготовками зачищают проволочной сеткой.

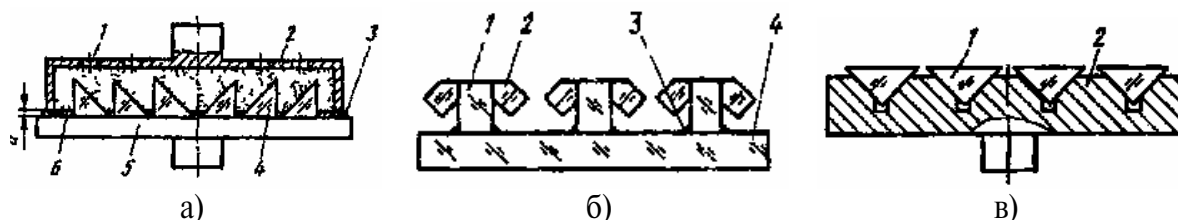


Рисунок 4.11 – Приспособления для крепления призм:  
а – гипсованием; б – посадкой на оптический контакт; в – наклеиванием

**Крепление на оптическом контакте** применяют при обработке призм с точными углами (1-10'') и острыми ребрами (рисунок 4.11б). Отполированные поверхности призм 2 тщательно очищают и притирают к поверхности контактных пластин 1, изготовленных с высокой степенью точности. Призмы удерживаются на контактной пластине силами молекулярного сцепления. Швы 3 между призмами 2, контактными пластинами 1 и контактными диском 4 покрывают шеллаком, чтобы избежать нарушения контакта.

**Наклеечные приспособления для призм** (рисунок 4.11в) представляют собой жесткий корпус 2 с пазами, обработанными под посадочные габаритные размеры призм 1. Призмы наклеивают тонким слоем наклеечной смолы на нагретый корпус.

**Блокирование линз** на наклеечные приспособления осуществляют эластичным и жестким способами. Наклеечное приспособление для эластичного крепления линз (рисунок 4.12а) представляет собой гладкий сферический гриб или чашку радиусом  $R$ . В инструменте для наклейки линз жестким способом (рисунок 4.12б) гнезда под линзы обрабатывают зенкерами на токарных станках, оборудованных поворотным столом и делительным устройством, или изготавливают в виде отдельных оправок, ввернутых в резьбовые отверстия корпуса (рисунок 4.12в).

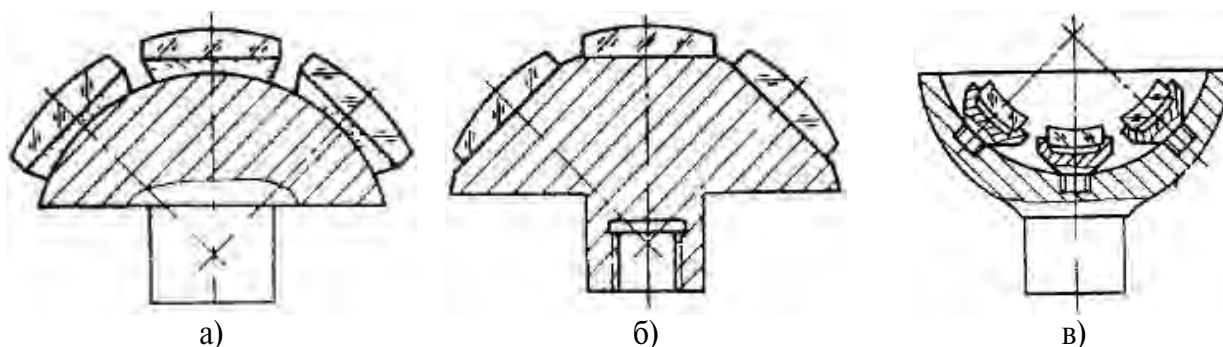


Рисунок 4.12 – Наклеечные приспособления для крепления линз:  
а – эластичным способом; б, в – жестким

## 4.5. Способы формирования сферических и плоских поверхностей

### 4.5.1. Шлифование стекла свободным абразивом

В процессе обработки увлажненные абразивные зерна 1 располагаются между поверхностями стекла 3 и шлифовальника 4 (рисунок 4.13), которые перемещаются относительно друг друга с определенной скоростью  $V$  и под некоторым давлением  $P$ . В результате трения абразивные зерна перекатываются между инструментом и деталью, воздействуя на них и друг на друга. При этом происходит срабатывание стекла, износ шлифовальника и разрушение самих зерен. Так как размеры зерен неодинаковы, то шлифовальник оказывает давление только на самые крупные зерна (например зерно 1 на рисунке 4.13). Во время движения шлифовальника и стекла зерна поворачиваются, и шлифовальник ударяет по другим, менее крупным зернам (например, зерно 2 на рисунке 4.13 положение I), или же по повернутым зернам в месте их наибольшего сечения (например, зерна 1, положение II), благодаря чему действие шлифовальника носит ударно - вибрационный характер. При повторных ударах зерен по стеклу начинают отделяться его кусочки и образуется шлифованная поверхность.

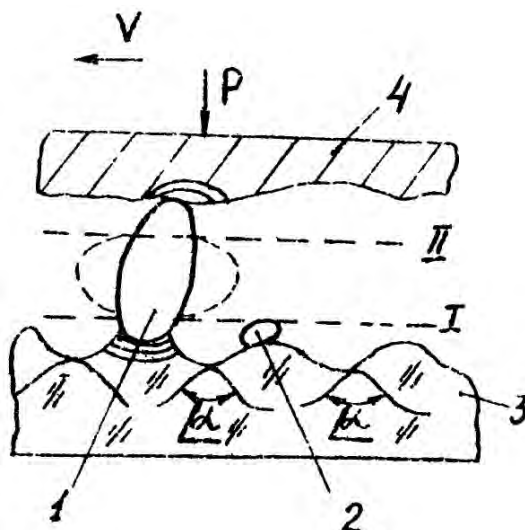


Рисунок 4.13 – Схема взаимодействия инструмента, абразива и заготовки при шлифовании стекла свободным абразивом

Установлено, что угол  $\alpha$  при вершине бугорков и впадин шлифованной поверхности стекла (рисунок 4.13) определяется химическим составом последнего и не зависит от размеров зерен абразивов (кварцевое стекло  $\alpha = 109^\circ$ , стекла марок ТФ3 и К8-соответственно  $103$  и  $150^\circ$ ). Поэтому скорость шлифования пропорциональна увеличению угла  $\alpha$ , поскольку увеличивается вероятность пересечения трещин.

Процессы обработки закрепленным и свободным абразивами отличаются между собой. Сравнивая схемы действия сил на зерна (рисунок 4.14), видно, что в закрепленном зерне (рисунок 4.14а) возникают напряжения сжатия, изгиба и среза. Свободное зерно (рисунок 4.14б) испытывает только силы сжатия и трения.

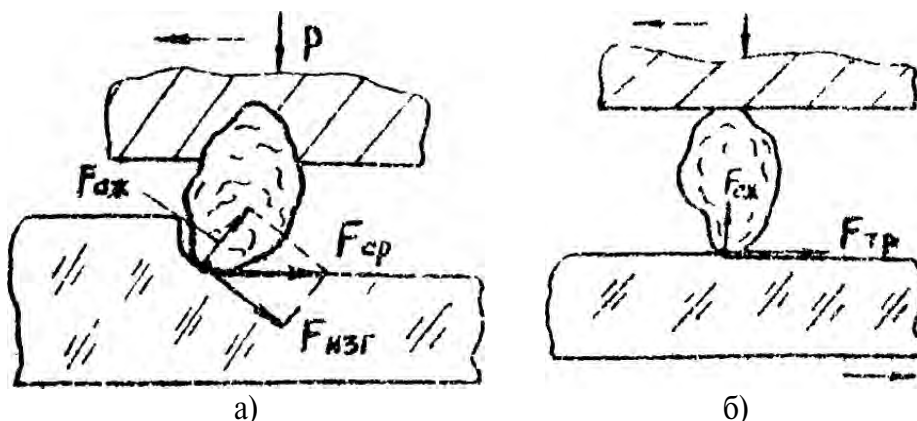


Рисунок 4.14 – Схема взаимодействия инструмента, абразива и заготовки при шлифовании стекла:  
а – связанным абразивом; б – свободным абразивом

Сила сжатия во втором случае задерживает зерно, сообщая ему способность производить работу аналогично закрепленным зернам, т.е. царапанием (зерно скользит). При этом взаимодействие сил трения сообщает зерну вращательный момент, заставляя его перекачиваться между поверхностями инструмента и стекла и производить ударно-вибрационное действие (зерно движется качением). Так как закрепленное зерно совершает только скольжение, то при одинаковой силе  $P$ , действующей на инструмент, давление на закрепленное зерно больше, чем на свободное (нет потери энергии на перекачивание зерна), и сьем стекла выше.

Кроме того, взаимные столкновения зерен при обработке стекла свободным абразивом приводят к их ускоренному разрушению. Так как глубина поврежденного слоя стекла пропорциональна размерам зерен, то данное явление приводит к снижению съема стекла и увеличению расхода абразива.

Закрепленные зерна с течением времени затупляются, усилие резания увеличивается, и они выкрашиваются из связки, но не раскалываются. Вместо них в работу вступают новые зерна, и процесс шлифования идет с равномерной интенсивностью.

#### 4.5.2. Процесс полирования стекла

Процесс полирования проходит при помещении полировального порошка, увлажненного жидкостью, между поверхностями стекла и подложкой полировальника.

Для понимания сущности процесса разработана теория полирования стекла, основанная на совместном действии механических, химических и физико-химических факторов. Показано, что скорость полирования менее химически стойкого стекла выше, чем более химически стойкого. При этом с увеличением температуры полируемой поверхности стекла происходит ускорение химических реакций, что увеличивает производительность полирования.

Кроме того, установлено, что производительность полирования растет по мере увеличения размера зерен полирита.

При этом полировальные зерна производят на стекле разрушения в виде микробороздок, направленных по движению зерен, т.е. при полировании происходит не хрупкое разрушение поверхности с образованием трещин (как при шлифовании), а удаление микростружки. Кроме того, полировальные зерна при работе закрепляются на подложке полировальника, а не перекачиваются, как при шлифовании.

### 4.5.3. Влияние основных технологических факторов на процесс шлифования

#### 4.5.3.1. Действие жидкости

Действие жидкости на процесс шлифования может быть физическим, химическим и физико-химическим.

К **физическому воздействию** (основное) жидкости относится:

- 1) распределение абразивных зерен по поверхности деталей и инструмента;
- 2) вымывание и удаление разрушенных кусочков стекла и абразивных зерен;
- 3) смазывание поверхностей деталей и инструмента, уменьшающее трение и сохраняющее на длительное время механические свойства абразивных зерен;
- 4) отведение тепла, развивающегося при обработке;
- 5) смягчение ударно-вибрационного действия шлифовальника.

**Химическое влияние** жидкости связано с гидролитическим разложением поверхностного слоя стекла. Вода, проникая в трещины стекла, вступает с ним в химическое взаимодействие, в результате чего в трещинах образуется  $\text{SiO}_2$ , который обладая большим объемом, чем стекло расклинивает трещины, ускоряя разрушение заготовки.

К **физико-химическому влиянию** жидкости относится взаимодействие молекул смачивающей жидкости и поверхности стекла. Известно, что жидкость, попадающая в микротрещины твердого тела, способствует его разрушению, если она обладает высокой энергией смачивания данного тела.

#### 4.5.3.2. Природа и величина абразивных зерен

Влияет на устойчивость абразивного зерна к разрушению. Более стойкое зерно может передавать более высокое давление, создавая более глубокий поврежденный слой в обрабатываемом материале.

Установлено, что съем стекла в процессе шлифования увеличивается с ростом величины абразивных зерен. Однако вероятность попадания абразивных частиц размером более 200 мкм между стеклом и инструментом уменьшается, что ограничивает максимальный размер абразивных зерен.

#### 4.5.3.3. Количество абразивных зерен

При избытке воды количество абразивных зерен уменьшается, а давление на каждое из них возрастает. Поэтому зерна перестают свободно перемещаться (кантоваться) по поверхности стекла и, как бы заклиниваясь, царапают его. При недостатке воды обилие зерен также затрудняет их перекачивание.

Если расход абразива при полировании превышает оптимальный, то происходит снижение производительности процесса, что связано со снижением температуры на поверхности стекла и замедлением химических реакций в его поверхностном слое.

#### 4.5.3.4. Скорость вращения шлифовальника

Разрушение стекла пропорционально скорости. Однако при слишком большой скорости абразивные зерна под влиянием центробежной силы сбрасываются со шлифовальника, не успевая воздействовать на стекло.

Для обдирочных работ линейная скорость на краю шлифовальника, может достигать 15-20 м/с. Для мелкого шлифования 1-3 м/с.

#### 4.5.3.5. Материал шлифовальника

Чем тверже материал, тем сильнее его ударно-вибрационное действие на абразивные зерна и сильнее разрушение стекол. Поэтому для обдирки изготавливают шлифовальники из стали или чугуна. Для мелкого шлифования применяют латунь.

При использовании пластмассовых шлифовальников на стекле почти не возникает царапин, как при шлифовании металлическим инструментом. Поэтому их применяют на стадии окончательного мелкого шлифования для ускорения полирования.

Для полирования стекла используются неметаллические подложки. В качестве подложек применяют волокнистые материалы и композиции различных смол.

Поверхность стекла, отполированная волокнистыми полировальниками, получается слегка волнистой. Кроме того, такие полировальники не позволяют корректировать кривизну их поверхности, что необходимо для обеспечения высокой точности обрабатываемой детали.

Важным свойством смоляной подложки является ее вязкость, которая позволяет полировальнику легко изменять свою форму и приобретать поверхность заданной кривизны в процессе полирования деталей.

Недостатком смоляных подложек является значительное изменение их вязкости с изменением температуры окружающей среды в зоне обработки, что затрудняет полирование на интенсивных режимах.

#### 4.5.3.6. Температура поверхности стекла и окружающей среды

При изменении температуры воздуха от 5 до 20 °С производительность полирования увеличивается почти в два раза, после чего рост интенсивности процесса замедляется, а при температуре 50-60 °С практически прекращается. Оптимальная температура для полирования 22-26 °С.

#### 4.5.4. Станки с жестко устанавливаемым инструментом

В схеме станков использован принцип образования сферической поверхности при одновременном вращении детали 1 и кольцевого инструмента 2, ось которого наклонена к оси вращения детали на угол  $\alpha$  (рисунок 4.15). Радиус сферы  $R$ , диаметр инструмента  $d_n$  и угол  $\alpha$  связаны между собой соотношением

$$R = d_n / 2 \sin \alpha, \text{ мм}$$

где  $R$  - радиус сферы, мм;

$d_n$  - диаметр инструмента, мм;

$\alpha$  - угол между осями вращения инструмента и детали, °.



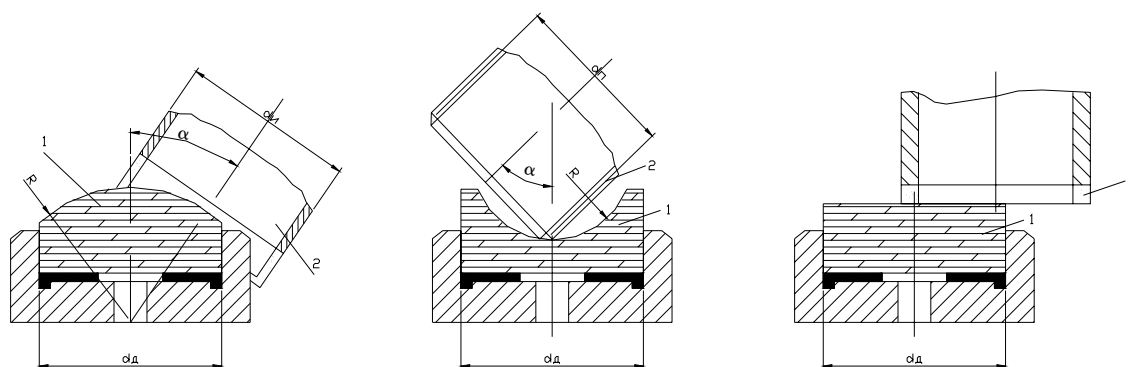


Рисунок 4.15 – Схема обработки с жестко устанавливаемым инструментом

Изменяя угол  $\beta$  и сохраняя положение кромки кольцевого инструмента на оси детали можно обрабатывать выпуклые и вогнутые поверхности деталей или блоков с различными радиусами сферы. Для грубого шлифования используют алмазные круги кольцевой формы 2A2 и круги чашечные конические формы 12A2. При настройке станка определяют угол  $\beta$  исходя из заданного радиуса кривизны  $R$  и задавая диаметр алмазного инструмента  $d_{\text{и}}$ . Диаметр  $d_{\text{и}}$  составляет 0,7-0,8 диаметра детали  $d_{\text{д}}$ . В стандарте находят ближайший нормализованный диаметр инструмента.

Жесткая кинематическая связь элементов станка, в которой замыкающим звеном является изделие, определяет зависимость точности формообразования от точности оборудования. Данный фактор ограничивает область применения этого способа операцией грубого шлифования сферических и плоских поверхностей.

#### 4.5.5. Обработка оптических деталей методом свободного притира

Для шлифования и полирования плоских сферических поверхностей применяются шлифовально-полировальные (ШП) и полировально-доводочные станки (ПД), обработка на которых ведется способом свободного притира. Инструмент, являющийся притиром, контактирует через слой абразивной суспензии с поверхностью заготовки во время их относительных перемещений, что приводит в предельном случае к полному наложению притирающихся поверхностей с точностью до размера абразивного зерна (рисунок 4.16).

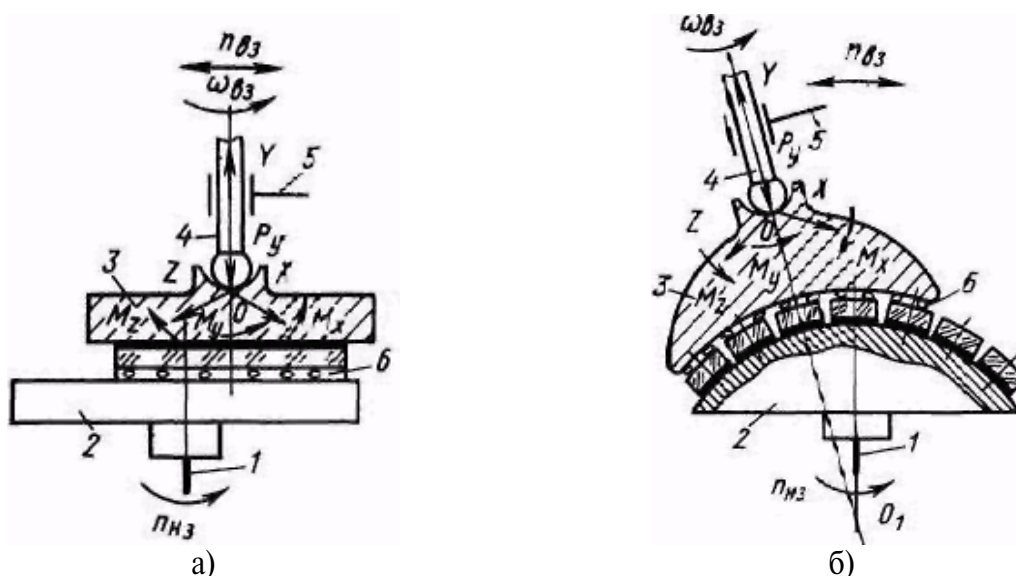


Рисунок 4.16 – Схема обработки оптических деталей методом свободного притира:  
а – плоских поверхностей; б – сферических поверхностей

На шпинделе 1 станка закрепляют нижнее звено 2. Верхнее звено 3 устанавливают на нижнее звено 2 и соединяют с механизмом 5 станка, сообщая ему перемещение через шаровой шарнир 4, обладающий 3 степенями свободы-вращения вокруг осей  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Силовое замыкание  $P_z$  верхнего и нижнего звеньев через шаровой шарнир производится механизмом 5. При перемещении верхнего звена с частотой  $n_{\text{вз.квч}}$  по вращающемуся с угловой скоростью  $\omega_{\text{н.з.}}$ , когда между притирающимися поверхностями заготовки и инструмента находится абразивная среда 6, происходит формообразование заготовки 7 поверхностью инструмента притира 2 (рисунок 4.16а) или 3 (рисунок 4.16б). Наличие шарового шарнира позволяет верхнему звену свободно самоустанавливаться по поверхности нижнего звена во время их относительных перемещений и произвольно вращаться со скоростью  $\omega_{\text{в.з.}}$  вокруг оси  $OZ$  в направлении вращения нижнего звена под действием сил сцепления, возникающих на поверхности. При шлифовании  $\omega_{\text{в.з.}} = (0,8-0,9)\omega_{\text{н.з.}}$ . При обработке плоской поверхности ось  $OZ$  вращения верхнего звена параллельна оси нижнего звена.

При обработке сферической поверхности ось  $OZ$  вращения верхнего звена проходит через шарнир и центр  $O_1$  общей сферы притирающихся поверхностей, расположенный на оси вращения нижнего звена. Отличительной чертой способа свободного притира от способов обработки на станках с жестко-устанавливаемым инструментом, у которых точность обработки зависит от точности базовых поверхностей станка, является то, что инструмент притир не связан с ними. В процессе формообразования инструмент самоустанавливается по обрабатываемой поверхности заготовки, которая является его установочной базой.

## 4.6. Технологические процессы изготовления типовых оптических деталей

### 4.6.1. Показатели качества оптических деталей

К ним относят:

$N$  - допустимое отклонение в интерференционных кольцах Ньютона (для зеленых лучей с  $\lambda = 550$  нм) стрелки прогиба поверхности детали (от стрелки прогиба пробного стекла данного радиуса), характеризующее отклонение от заданной сферы (рисунок 4.17);

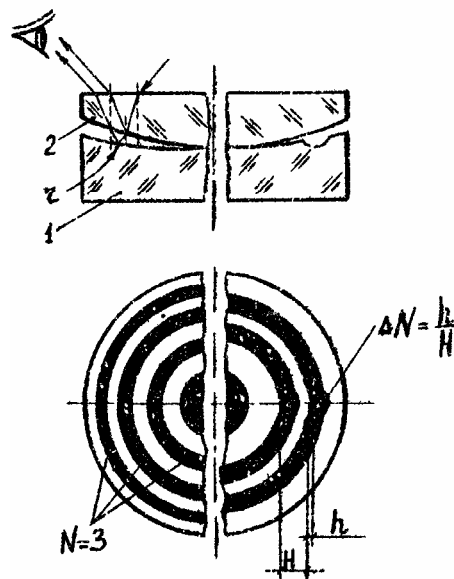


Рисунок 4.17 – Схема для определения отклонения от кривизны

$\Delta N$ - отклонение от правильной сферы или плоскости - разность числа колец по двум взаимно перпендикулярным диаметрам детали или искривление полос, характеризующее

разность кривизны поверхности по этим диаметрам. Определяет величину местных неровностей поверхности (местных ошибок). Местные ошибки формы оптических поверхностей уменьшают предел разрешения  $e$  оптической системы;

$C$  - допустимая децентрировка, смещение центров кривизны поверхностей или точки фокуса с геометрической оси или разнотолщинность в миллиметрах. Вызывает появление астигматизма и поперечного хроматизма;

$P$  - обозначение в соответствии с ГОСТ 11141-76 классов чистоты по дефектам -точкам и царапинам на полированных поверхностях. Требования к чистоте этих поверхностей регламентированы двенадцатью классами чистоты Р I-10, I-20, I-40, I, II, ..., IX;

$\Delta R$  - класс точности пробного стекла по ГОСТ 2786-76, характеризуемый допустимым отклонением радиуса пробного стекла от расчетного в процентах или микрометрах;

$\Delta\alpha$ - предельная разность равных по номиналу углов призм в минутах или секундах;

$\theta$ - допуск на клиновидность пластинок -сеток, защитных стекол и светофильтров;

$\pi$ - допуск на пирамидальность призм (непараллельность ребер призмы), уменьшает разрешающую способность призмы;

$\delta 45^0$  - означает допуск на разность углов  $45^0$ . Если  $\delta 45^0 \neq 0$ , то развертка призмы представляет собой не плоскопараллельную пластинку, а клин, который отклоняет лучи от расчетных направлений и вносит хроматизм.

#### 4.6.2. Изготовление плоскопараллельных пластин и клиньев

**Предварительная обработка.** Все операции (1-13) (рисунок 4.18) предварительной обработки заготовок пластин и клиньев независимо от требуемой точности их изготовления выполняются по единой схеме. Операция 1 - распиливание алмазным дисковым кругом диаметром 600 мм с зернистостью 160/125 заготовок с припуском по толщине. Частота вращения инструмента 1420 об/мин. СОЖ - вода с добавлением эмульсола. При использовании штучных или кратных заготовок обработку начинают с сборки блока заготовок и установки его на столе плоско шлифовального станка.

Грубое шлифование (3) ведется алмазным чашечным кругом диаметром 500 мм с частотой вращения 975 об/мин.

Погрешность формы заготовок в пределах 0,01 мм на длине 100 мм, шероховатость поверхностей не грубее  $Rz = 20$  мкм.

После грубого шлифования второй поверхности (6) разнотолщинность заготовок не превышает 0,02-0,05 мм. Для получения клиновидной заготовки используют специальные приспособления, нижняя опорная поверхность которых расположена под заданным углом к плоскости стола. Погрешность углов не превышает  $\Delta = 5$ .

Заключительной операцией (13) предварительной обработки заготовок является фасетирование заготовок, выполняемое вручную на станках с алмазированной планшайбой.

**Окончательная обработка** исполнительных поверхностей. Все операции (14-22) (рисунок 4.18) окончательной обработки исполнительных поверхностей пластин и клиньев выполняются по единой схеме.

Технологический процесс начинается со сборки блока (14), который осуществляется приклеиванием наклеечными смолами.

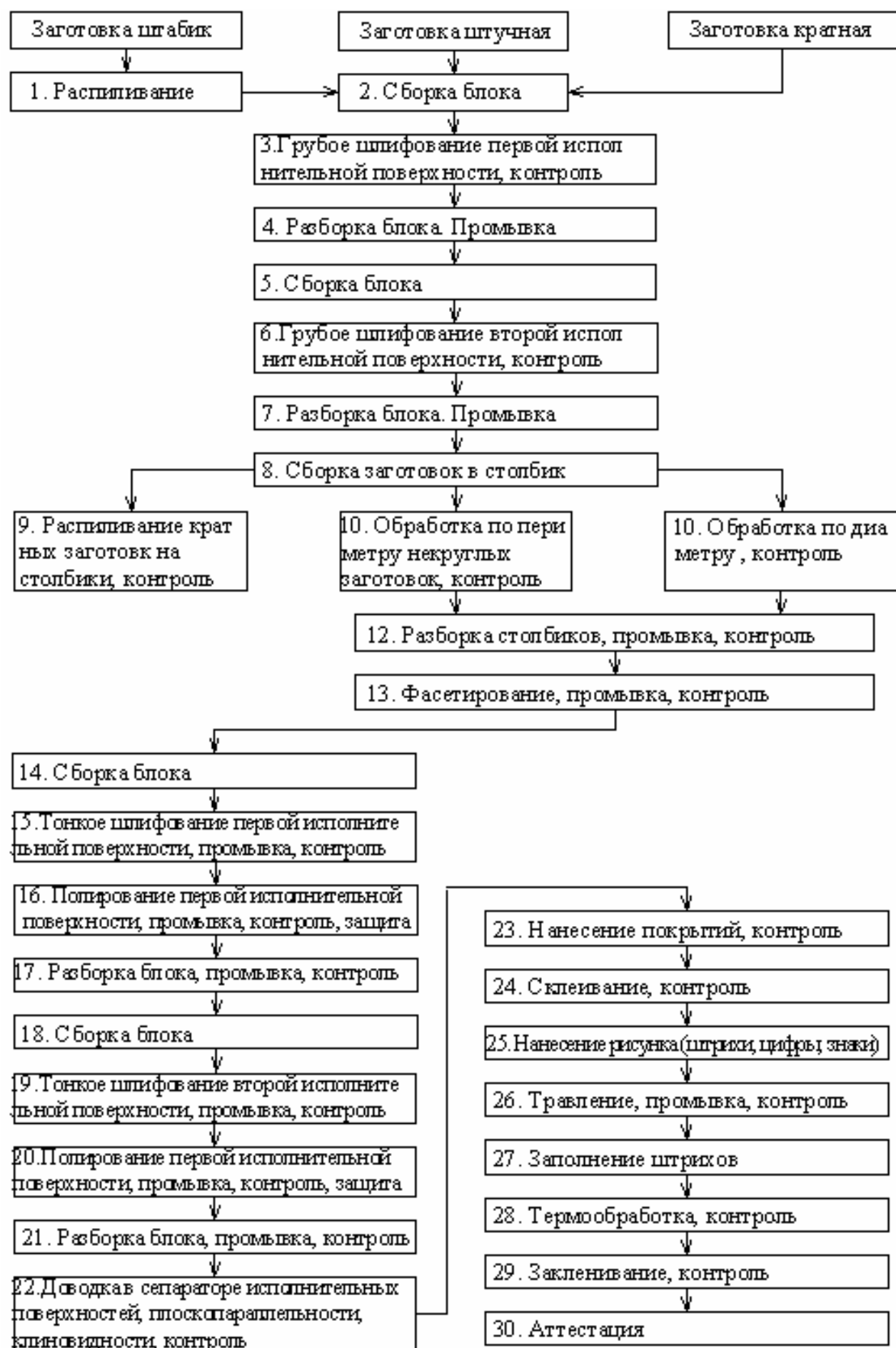


Рисунок 4.18 – Обобщенная схема технологического процесса обработки заготовок пластин и клиньев

Крепление смолами может быть двух видов: эластичное и жесткое. Наиболее универсальным является эластичное крепление (рисунок 4.19), обеспечивающее точную установку заготовок 2 относительно одна другой и наклеичного приспособления 4. Функцию установочной базы выполняет нижняя поверхность заготовки 2, опирающаяся на рабочую плоскость вспомогательного приспособления 1. Кроме того, эластичное крепление за счет большой толщины слоя смолы 3 обеспечивает наименьшие деформации обрабатываемых заготовок.

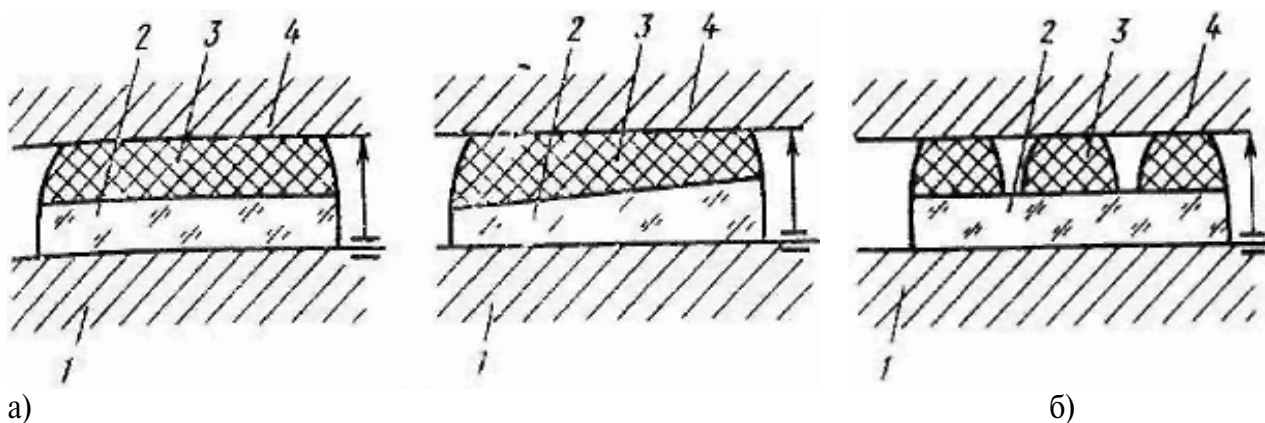


Рисунок 4.19 – Эластичное крепление заготовок пластин и клиньев:  
а – сплошным слоем смолы; б – точечное крепление

Смола на заготовки малых размеров наносится в виде сплошных подушек (рисунок 4.19а) вручную или на наклеичном полуавтомате, а на заготовки более 80-100 мм в виде полосок или точек (рисунок 4.19б). Этот вид крепления применяется в единичном и мелкосерийном производстве, а также для деталей с малой жесткостью.

В крупносерийном и массовом производстве для исключения трудоемкого наклеивания на заготовки смоляных подушек применяется жесткий метод крепления заготовок 3 (рисунок 4.20а) к приспособлению 1. Он предусматривает наклеивание тонким слоем смолы 2 толщиной 0,2 мм плоскопараллельных заготовок на плоское наклеичное приспособление, а клиньев - на специальное приспособление (рисунок 4.20б), имеющее установочные площадки, расположенные под определенным углом к его основанию.

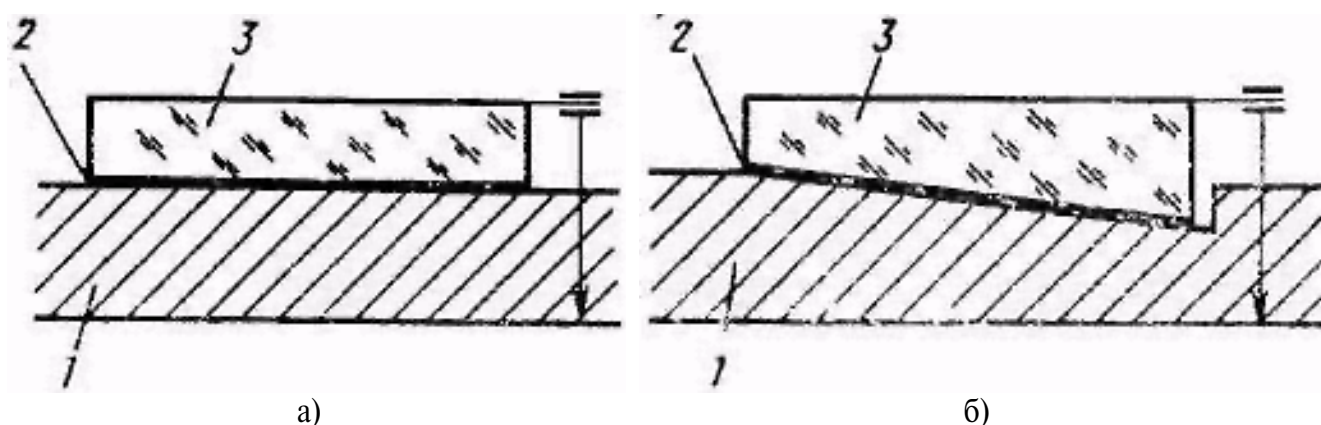


Рисунок 4.20 – Жесткое крепление заготовок:  
а – пластин; б – клиньев

Функцию установочной базы заготовки в этом случае выполняет ее поверхность, совмещаемая с установочной базой приспособления 1 через слой смолы 2. Вследствие его разнотолщинности, вызванной неравномерным прижимом заготовки 3 к опорной плоскости наклеичного приспособления 1, погрешности установки заготовок больше погрешностей при эластичном способе крепления.

Операцию (15) тонкого шлифования (рисунок 4.18) выполняют на станках ШП способом свободного поверхностного притира водными суспензиями микропорошков электрокорунда с зернистостью М20 и М10 в два перехода или алмазным инструментом в виде планшайбы с наклеенными на ее рабочую поверхность алмазосодержащими элементами в один переход. Полирование (16) выполняется на тех же станках способом свободной притирки. Операцию (17) разборки блоков производят тепловыми и ультразвуковыми способами. Заготовки плоскопараллельных пластин и клиньев направляются на повторную сборку блока (18) для последующего тонкого шлифования (19) и полирования (20) второй исполнительной поверхности.

Для крепления заготовок с допусками на плоскопараллельность или клиновидность деталей  $D < 3''$  независимо от типа производства применяется оптический контакт. Для этого заготовки плоскопараллельных пластин 2 (рисунок 4.21а) закрепляются непосредственно на стеклянном приспособлении 1, а клиньев (рисунок 4.21б) через промежуточные стеклянные плашки 3 приспособления.

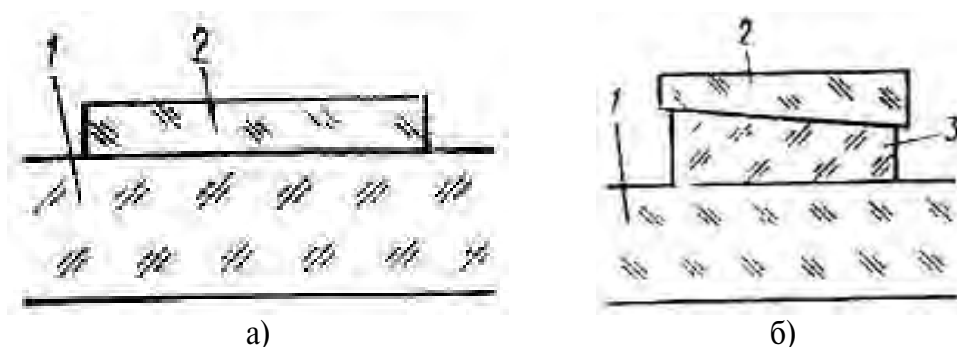


Рисунок 4.21 – Крепление заготовок с помощью оптического контакта:  
а – пластины; б – клинья

Операции тонкого шлифования (19), полирования (20) и разборки блоков (21) выполняются аналогично операциям 15-17 (рисунок 4.18).

**Дополнительная обработка заготовок.** Дополнительную обработку заготовок осуществляют по единой схеме (операции 23 - 30 на рисунке 4.18), но различными способами в зависимости от класса детали.

#### 4.6.3. Технологический процесс изготовления прямоугольных призм

**Предварительная обработка** (рисунок 4.22). Изготовление призм начинается с обработки боковых поверхностей. В единичном производстве операции 3, 6 выполняют вручную свободным абразивом или на алмазированной планшайбе на станках для грубого шлифования. В серийном производстве используют плоскошлифовальные станки. Для этого заготовки приклеивают к металлическим пластинам и устанавливают на электромагнитный стол станка. После грубого шлифования (3) первой боковой поверхности блок разбирают (4) путем нагрева на электроплите, а заготовки промывают и наклеивают (5) обработанной стороной на пластины.

В зависимости от выбранной технологии предварительной обработки исполнительных поверхностей и оборудования операция (9) (рисунок 4.22) сборки блока выполняется по-разному.

При единичном производстве заготовки склеивают (9) боковыми поверхностями в столбик.

Затем последовательно обрабатывают первую (10) и вторую (13) исполнительные поверхности с подгонкой угла  $90^\circ$ , далее обрабатывают третью исполнительную поверхность (16) с выдерживанием заданной разности углов  $45^\circ$ , высоты и пирамидальности призм. При этом операции 11, 12, 14, 15 исключаются. В условиях серийного производства широко

используется предварительная обработка заготовок (9, 12, 15), приклеенных на специальные приспособления.

После разборки (18) столбиков заготовки промываются и направляются на фасетирование, которое выполняется вручную на станках для грубого шлифования свободным абразивом или на алмазированной планшайбе.

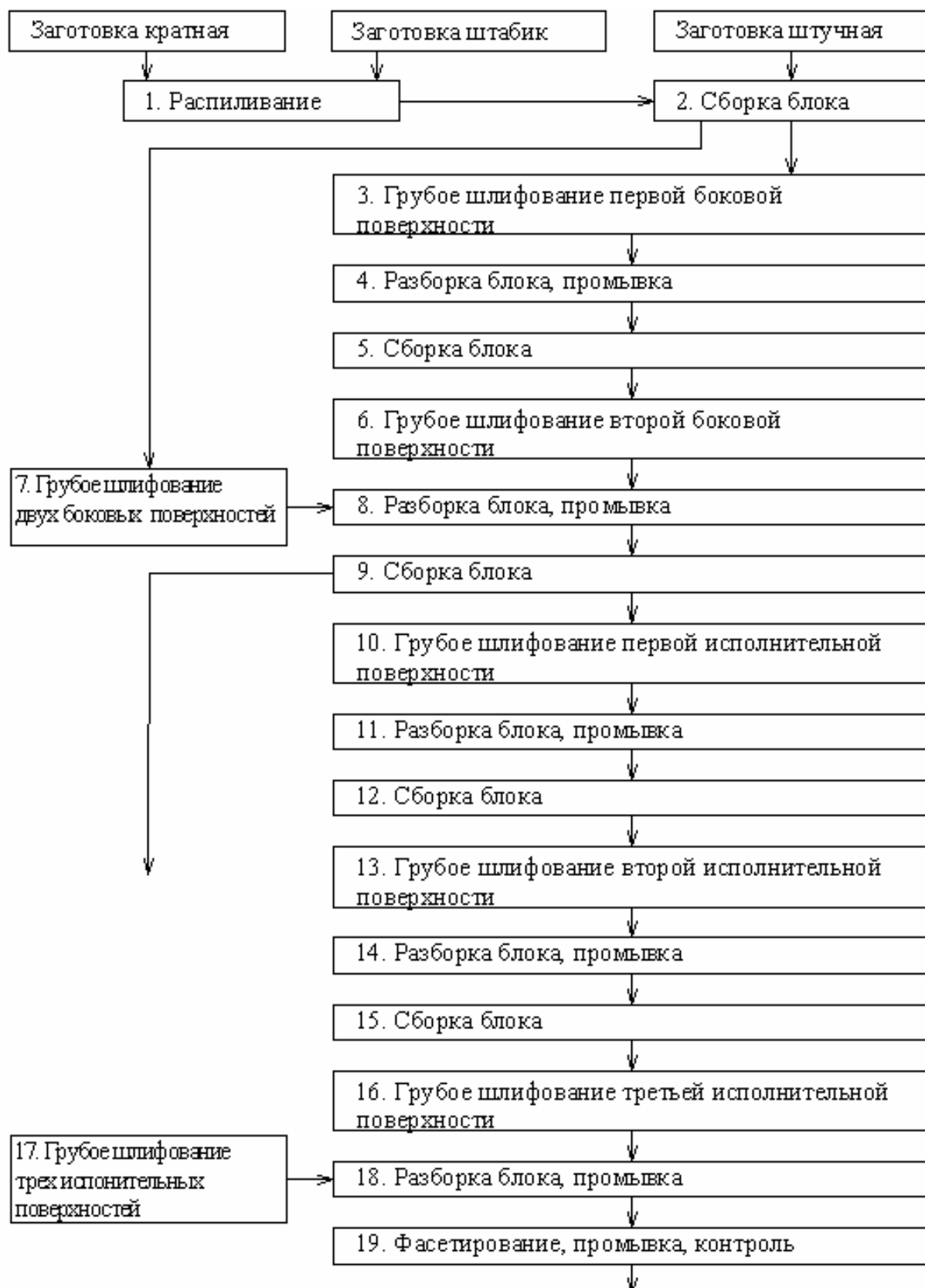


Рисунок 4.22 – Обобщенная схема технологического процесса предварительной обработки заготовок прямоугольных призм

Окончательная обработка исполнительных поверхностей (рисунок 4.23).



Рисунок 4.23 – Обобщенная схема технологического процесса окончательной и дополнительной обработки исполнительных поверхностей заготовок призм

Операция 20 сборки блока при эластичном способе блокирования начинается с наклеивания на заготовки 2 (рисунок 4.24) смоляных подушек 3, после чего заготовки



устанавливаются на рабочую плоскость вспомогательного приспособления 1. Расположение заготовок должно соответствовать установочным элементам наклеичного приспособления 4, которое в разогретом виде опускается на заготовки 2 со смолой.

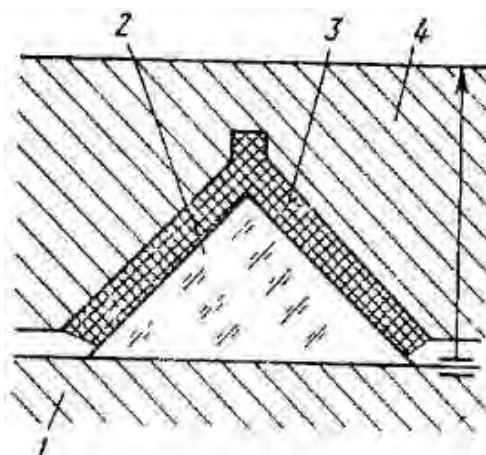


Рисунок 4.24 – Эластичное крепление заготовок призм

Тонкое шлифование первой исполнительной поверхности (21) заготовок выполняют на станках ШП.

Полирование (22) блока проводят обычно на том же оборудовании, что и шлифование. Его выполняют водными суспензиями полирита полировальниками со смоляной подложкой. Операцию разборки (23) блоков ведут тепловым способом (нагревом на электроплите или охлаждением в камере), промывку выполняют органическими растворителями.

Обработанные заготовки после операции 31 контроля поверхностей направляются на дополнительную обработку: нанесение покрытий (32) и склеивание (33).

#### 4.6.4. Технологический процесс изготовления линз

**Изготовление линз с эластичным способом их крепления к приспособлению.** В единичном и мелкосерийном производстве все операции (1-14) обработки заготовок (рисунок 4.25) делятся на три группы: грубое шлифование исполнительных поверхностей и диаметра; тонкое шлифование и полирование исполнительных поверхностей, центрирование и фасетирование; дополнительная обработка заготовок - нанесение покрытий и склеивание. При этом операции тонкого шлифования и полирования выполняются при эластичном способе блокирования заготовок.

При использовании кратной заготовки или штабика операцией 1 является распиливание, кругление и подгонка толщины заготовок; операцией 3 - грубое шлифование исполнительных поверхностей, которое выполняется в единичном производстве вручную на станках для грубого шлифования с применением водных суспензий абразива. Первой обрабатывается сторона, имеющая меньший радиус. При мелкосерийном производстве для выполнения этой операции применяют станки, оснащенные алмазным инструментом.

Заготовки крепятся в цанге. В качестве черновой базы используют поверхность, имеющую меньший радиус.

Следующей операцией (4) является сборка блока эластичным способом. Первыми обрабатывают поверхности заготовок с большим радиусом или с менее жесткими требованиями по точности и чистоте поверхностей. Операции сборки блока предшествует наклеивание смоляных подушек 3 на заготовки 2 (рисунок 4.26). Далее заготовки линз в соответствии с установленным при расчете блока порядком всухую или с помощью тонкого слоя вазелина, используемого при малом радиусе кривизны, притираются к поверхности притирочного (настроечного) приспособления (гриб или чашка) 1.

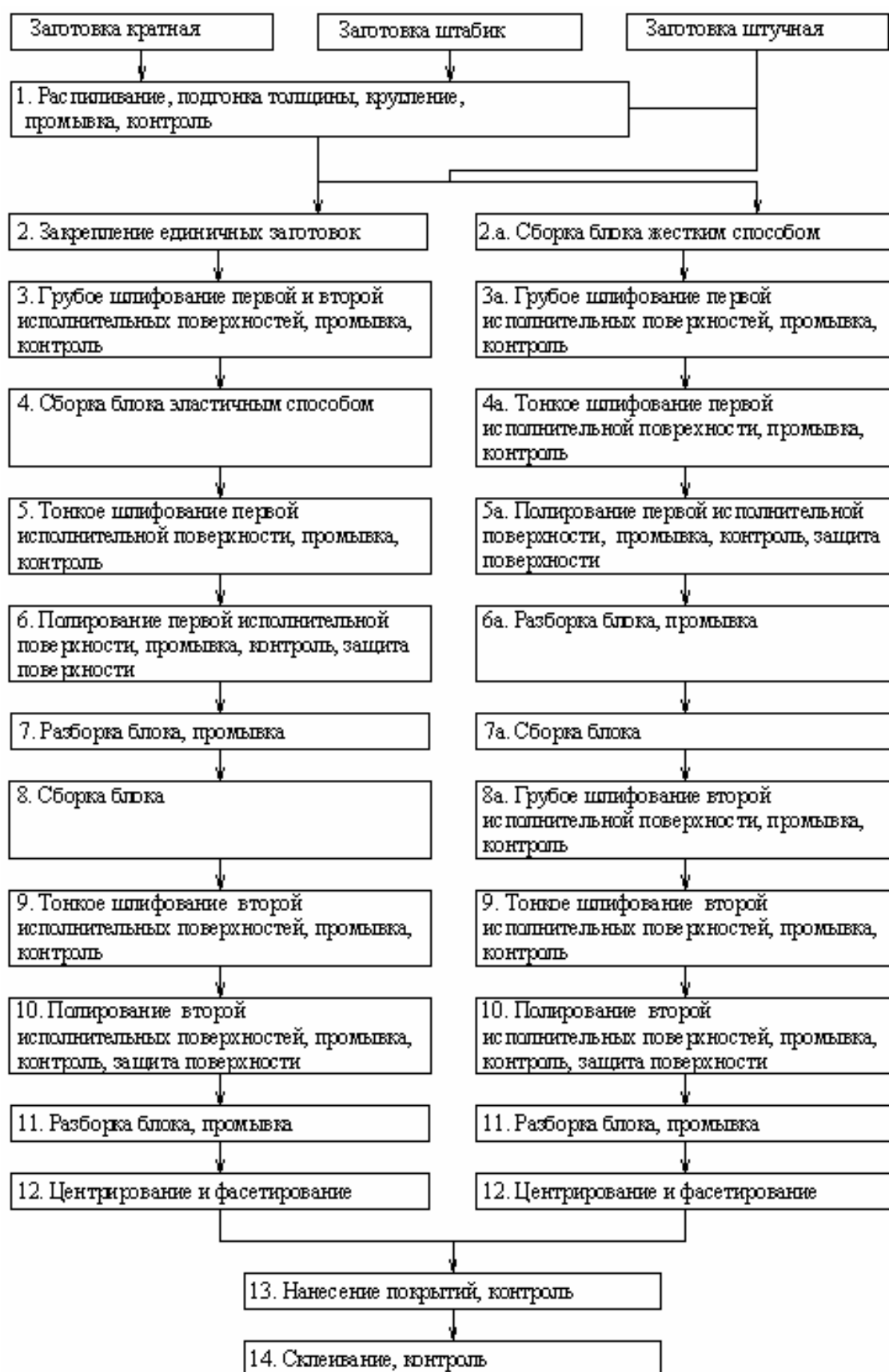


Рисунок 4.25 – Обобщенная схема технологического процесса обработки заготовок линз

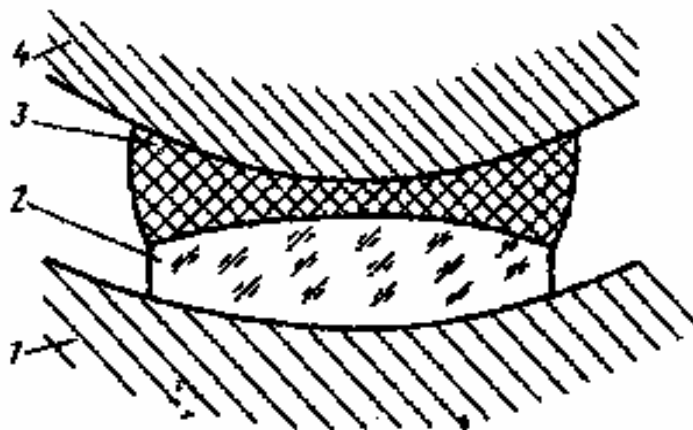


Рисунок 4.26 – Эластичное крепление заготовок линз

Наклеечное приспособление 4, нагретое до температуры 80-100°C, накладывают на подушки, которые оплавляются и прилипают к нему. Охлаждают блоки в воде при нормальной температуре.

Тонкое шлифование (5) первой исполнительной поверхности выполняют на станке ШП в два перехода водными суспензиями микропорошков электрокорунда или алмазным инструментом. После выполнения второго перехода радиус и форму поверхности контролируют пробным стеклом, которое накладывается на увлажненную шлифованную поверхность заготовки.

Полирование (6) ведут на тех же станках водной суспензией полирита с применением смоляных полировальников. После контроля качества поверхностей заготовки защищают лаком. Разборку блоков (7) выполняют в холодильных камерах, или с помощью ультразвука.

Операции 8-11 обработки второй исполнительной поверхности заготовок линз выполняются так же, как и первой. Заключительной операцией этого цикла обработки является центрирование и фасетирование (12) заготовок. Задача центрирования - совмещение геометрической оси (оси симметрии цилиндрической образующей заготовки) с ее оптической осью (осью, соединяющей центры кривизны обеих поверхностей). Выполняется на специальных станках ЦС. Установка линз осуществляется самоцентрирующихся патронах методом сжатия. Круглое шлифование цилиндрической образующей поверхности производится алмазным инструментом АПП диаметром 200 мм, вращающимся с частотой 2800 об/мин. СОЖ - масло промышленное 20 или МВП, подаваемое в рабочую зону насосом.

Фасетирование осуществляют одновременно с центрированием комбинированным алмазным кругом, режущая кромка которого имеет цилиндрическую и коническую части.

В крупносерийном производстве грубое и тонкое шлифование, полирование исполнительных поверхностей (2а-10а) (рисунок 4.25) выполняют с одной установки заготовок на наклеечном приспособлении жестким способом. Основным отличием данного способа обработки является последовательное выполнение операций грубого шлифования (3а), тонкого шлифования (4а) и полирования (5а) исполнительных поверхностей заготовок без разборки и сборки блока, т. е. последовательная обработка с одной установки заготовок на наклеечном приспособлении.

Вторым отличительным признаком является приклеивание заготовок 2 первой полированной поверхностью к приспособлению 1 тонким слоем (0,1-0,3 мм) смолы 3 или с помощью тканевой прокладки, пропитанной смолой (рисунок 4.27).

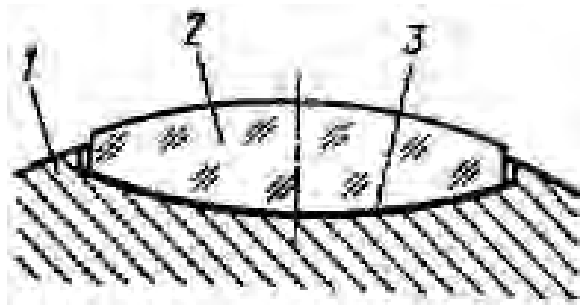


Рисунок 4.27 – Жесткое крепление заготовок линз

Клиновидность и разнотолщинность клеящего слоя исключают возможность точного совмещения установочной и измерительной баз. Вместе с погрешностью изготовления установочных элементов приспособления это приводит к появлению разнотолщинности (0,05-0,2 мм) и клиновидности заготовок.

Грубое шлифование первой исполнительной поверхности (3а) производится блоком на станках с алмазным инструментом. Тонкое шлифование осуществляется на станках ШП алмазным инструментом или водными суспензиями электрокорунда. Полирование (5а) выполняется на тех же станках. Отполированные блоки после контроля качества поверхности и защиты лаком поступают на разблокирование (6а). Операции (7а-12а) выполняются по той же схеме.

**Дополнительная обработка.** В процесс дополнительной обработки линз входят операции нанесения просветляющих, защитных и других покрытий (13) и склеивание (14).

#### 4.6.5. Соединение оптических деталей

**Склеивание** применяют для призм, окуляров, объективов и их компонентов. Его выполняют бальзамом, бальзамином, клеем акриловым, клеями марок ОК50П, ОК72ФТ, УФ215М.

Перед склеиванием детали комплектуют попарно, поверхности чистят и накладывают одна на другую, при необходимости подогревая деталь и клей, снимают верхнюю деталь и на нижнюю капельницей наносят каплю клея, вновь соединяют детали и круговыми движениями верхней линзы удаляют пузырьки воздуха и излишки клея. В процессе затвердевания детали центрируют и удаляют излишек клея по наружному диаметру. Затем осуществляют контроль параметров  $N$ ,  $\Delta N$ ,  $P$ ,  $C$ . Толщина слоя клея 0,01-0,02 мм.

**Соединение оптическим контактом** необходимо, если склеивание деталей невозможно - при работе в УФ и ИК областях спектра, при мощном лазерном излучении, высоких температурах. Перед посадкой на оптический контакт детали комплектуют с общей «ямой» в 1-2 кольца Ньютона, чистят поверхности, соединяют детали, центрируют, сжимают с одного края и контакт распространяется на всю поверхность. Соединение прочное, но требования к качеству поверхности строже, чем при склеивании.

При соединении глубоким оптическим контактом соединяемые поверхности деталей травят в растворе азотной кислоты, нанося на вращающуюся деталь каплю эфира ортокремниевой кислоты. Детали соединяют, центрируют, медленно нагревают до  $t = 250-300^\circ\text{C}$  (8 ч), выдерживают (8 ч) и медленно охлаждают (8 ч). Соединение прочное.

**Соединение спеканием.** Полированные или шлифованные поверхности чистят, детали накладывают одна на другую, центрируют и фиксируют, зажимая в специальном приспособлении, медленно нагревают до температуры спекания ( $500-750^\circ\text{C}$ ) и медленно охлаждают (отжиг). Соединение наиболее прочное.

## 4.7. Технологические процессы изготовления специальных оптических деталей

### 4.7.1. Изготовление пробных стекол

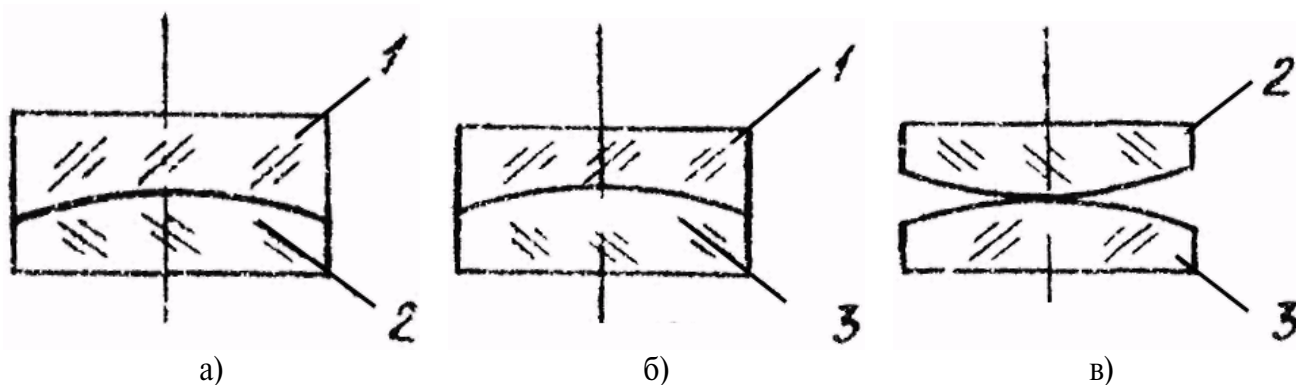
Пробные стекла - вид гладких калибров, служащий для хранения, воспроизведения и измерения радиусов сферических поверхностей. Пробные стекла делят на три типа:

- 1) основные пробные стекла (ОПС), предназначенные для хранения единиц измерения и передачи их вторичным мерам - контрольным пробным стеклом;
- 2) контрольные пробные стекла (КПС), предназначенные для проверки рабочих мер;
- 3) рабочие пробные стекла (РПС), предназначенные для контроля поверхностей деталей.

Сферические ОПС изготавливают парами, состоящими из выпуклого (+) и вогнутого (-) стекол. Обработку обоих стекол проводят одновременно, т.е. в качестве шлифовальника на шпиндель станка попеременно устанавливают то выпуклое, то вогнутое стекло. При этом у нижней заготовки края срабатываются быстрее, чем середина, а у верхней - наоборот. Это позволяет целенаправленно изменять значения радиусов притирающихся поверхностей. В процессе обработки радиус кривизны проверяют на сферометре. Стекла считаются готовыми, если при наложении их друг на друга полированными поверхностями будет наблюдаться желто-соломенный цвет.

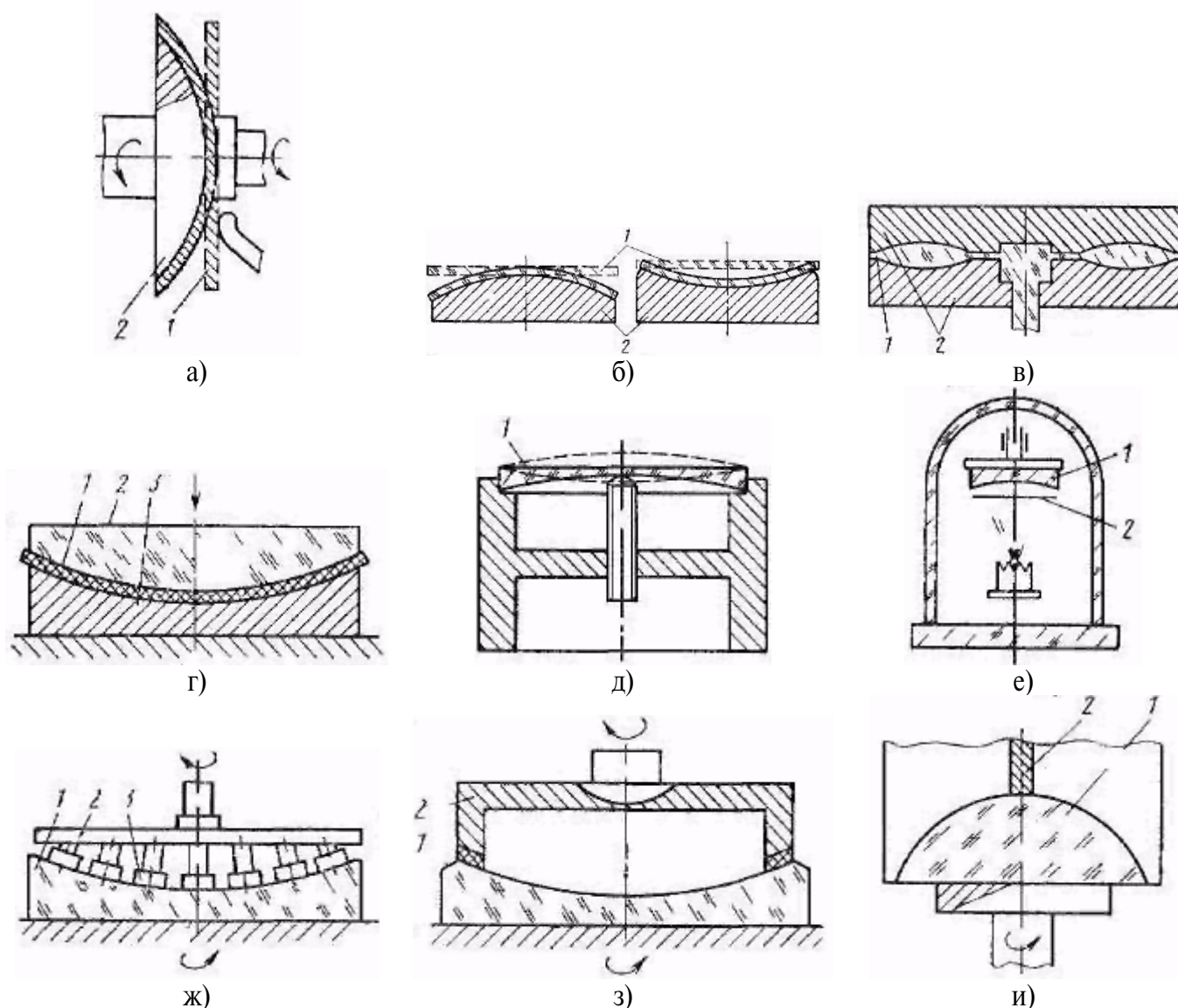
КПС и РПС изготавливают по обычной технологии с контролем первых по ОПС, а РПС - по КПС.

Плоские ОПС изготавливают путем последовательной подгонки трех стекол. Для получения точных плоских поверхностей принимают одно стекло (например, 1 на рисунке 4.28а) за эталонное, подгоняя к нему второе и третье стекла (рисунок 4.28б, в). Если стекло 1 имело "ямку", например, в одну полосу, то стекла 2 и 3 будут иметь "бугор" также в одну полосу. При наложении стекол 2 и 3 друг на друга общий "бугор" составит две полосы (рисунок 4.28в). Обработывая стекла 2 и 3, уменьшают их выпуклость до одной полосы. После этого приняв за эталон второе или третье стекло, подгоняют к нему два других, и так продолжается до тех пор, пока не получится три точных плоскости.



### 4.7.2. Изготовление асферических поверхностей

Эллиптические зеркала большого диаметра изготавливают за несколько переходов, с промежуточным отжигом, из тонкого латунного листа 1 выдавливанием на токарном станке с помощью приспособления 2, имеющего выпуклую форму с наружной асферической поверхностью (рисунок 4.29а). Затем осуществляют очистку, полирование и хромирование.



**Рисунок 4.29 – Изготовление асферических поверхностей:**

**а – выдавливанием; б – моллированием; в – отливкой на машине литья под давлением; г – прессованием-штамповкой; д – деформированием; е – нанесением в вакууме; ж – каблучным методом, з – кольцевым шлифовальником (полировальником); и – ножевым инструментом**

Параболические зеркала диаметром 300-800 мм изготавливают моллированием (рисунок 4.29б): отполированная заготовка 1 из тонкого листового стекла при высокой температуре 600-800° С принимает форму рабочей асферической поверхности матрицы 2.

Зеркала меньшего диаметра получают штамповкой.

Зеркала и линзы с асферическими поверхностями изготавливают также прессованием из порошка пластмассы или отливкой 1 в форму 2 жидкой модификации оргстекла под давлением (рисунок 4.29в).

Асферические поверхности зеркал также выполняют прессованием - штамповкой тонкого слоя эпоксидной смолы 1, наносимого на стеклянную или металлическую основу 2, причем рабочие поверхности образуются пуансоном или матрицей 3 из металла, стекла (рисунок 4.29г). Пластины с асферическими поверхностями, изготавливают также обработкой предварительно деформированной по особому закону заготовки 1, одна из поверхностей которой после снятия нагрузки принимает прежнюю - чаще всего плоскую форму, а вторая - асферическую (рисунок 4.29д).

Асферические поверхности зеркал с отклонением от сферы или плоскости не более 0,01-0,02 мм выполняют, нанося испарением в вакууме на сферическую или плоскую

поверхность заготовки 1 слоя алюминия, фтористого магния или сернистого цинка. Так как слой наносимых веществ должен иметь по поверхности различную толщину, то перед заготовкой располагают вращающуюся маску-пластинку с вырезами 2 (рисунок 4.29е).

Точные поверхности с небольшим отклонением от сферы, изготавливают каблучным методом, когда обработка асферических поверхностей 1 (рисунок 4.29ж) ведется инструментом 2, состоящим из нескольких небольших шлифовальников или полировальников 3, имеющих такие размеры и расположение, что с исходной поверхности снимается слой необходимой толщины и образуется требуемая асферическая поверхность. Большой класс асферических поверхностей, имеющих небольшое отклонение от сферы или плоскости (например, завал в краевой части поверхности 1), изготавливают, выполняя колебательные движения кольцевым шлифовальником 2 (полировальником) (рисунок 4.29з).

Широко применяется метод ножа (рисунок 4.29и). После грубого шлифования поверхности 1, производится среднее и мелкое шлифование плоским шлифовальником - ножом 2 толщиной 1-3 мм, имеющим рабочий профиль изготавливаемой асферической поверхности.

#### 4.7.3. Изготовление шкал и сеток

Сетки изготавливают методом деления и фотографирования. При **методе деления** используют делительную машину, на которой штрихи наносят резцом вручную или автоматически, а также на пантографе, используя копирсетку в виде канавок, нанесенных на латунной пластине с увеличением в 10-50 раз. Штрихи можно наносить алмазным резцом непосредственно на заготовке (ширина штриха 0,01-0,001 мм) или прорезать защитный слой (воск), покрывающий заготовку, алмазными резцами (ширина штрихов 0,005-0,002 мм) или резцами из углеродистой стали (при ширине более 0,005 мм). Затем эту заготовку протравливают в парах плавиковой кислоты. После травления заготовки промывают, чистят и проводят запуск (заполнение штрихов краской).

**Фотографическим методом** сетки получают следующим образом:

а) фотографированием чертежа оригинала на светочувствительный слой, нанесенный на заготовку (после проявления этот слой защищают прозрачным лаком или заклеивают защитным стеклом);

б) получением негатива - эталона, с которого путем контактной печати изготавливают сетки на заготовке (более выгодный способ);

в) с помощью специальных фотослоев, непрозрачные элементы или фон которых после проявления окрашивают красителем или покрывают зеркальным слоем. Эти же элементы после проявления могут служить и защитным слоем, что позволяет получить деления сетки травлением на металлическом покрытии или на стекле. В качестве фотоэмульсии используют двуххромовокислые слои калия и алюминия в смеси с желатином.

Фотографический способ позволяет изготавливать сетки со сложными штрихами, линиями, контурами, в том числе и с участками различной плотности.

## 5. ХОЛОДНАЯ ШТАМПОВКА

К наиболее распространенным видам обработки без снятия стружки относится холодная штамповка, включающая в себя различные операции (рисунок 5.1).

**Достоинства** холодной штамповки являются постоянство получаемых размеров, высокая производительность, простота выполнения операции, возможность автоматизации процесса.

**Недостатки:** высокая стоимость штампов, ограниченность получаемых этим методом форм, трудность штамповки толстостенных деталей.

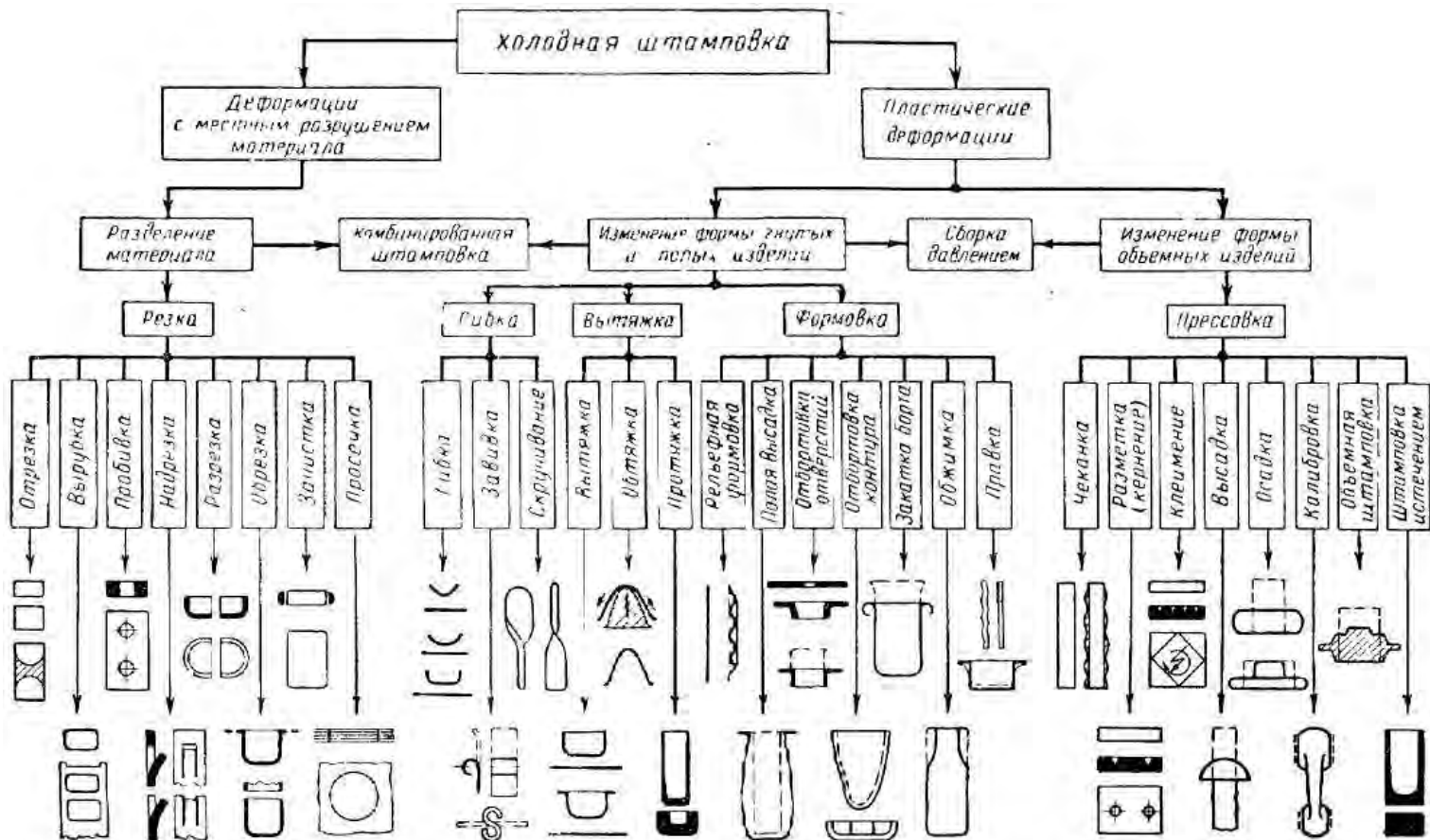


Рисунок 5.1 – Классификация основных процессов и операций холодной штамповки.

### 5.1. Отрезка

Отделение материала от заготовки по незамкнутому контуру. Листовые материалы режутся на полосы с контуром из прямых линий на ручных (рычажных) или механических (гильотинных) ножницах по упорам (рисунок 5.2а). Резка тонких листов на полосы осуществляется дисковыми ножницами с прямо поставленными ножами (рисунок 5.2б); круги вырезаются на дисковых ножницах с наклонно поставленными ножами. Заготовки с радиусом кривизны  $R < 12$  мм и отверстиями при толщине материала до 3 мм вырезаются по разметке на вибрационных ножницах (рисунок 5.2в).



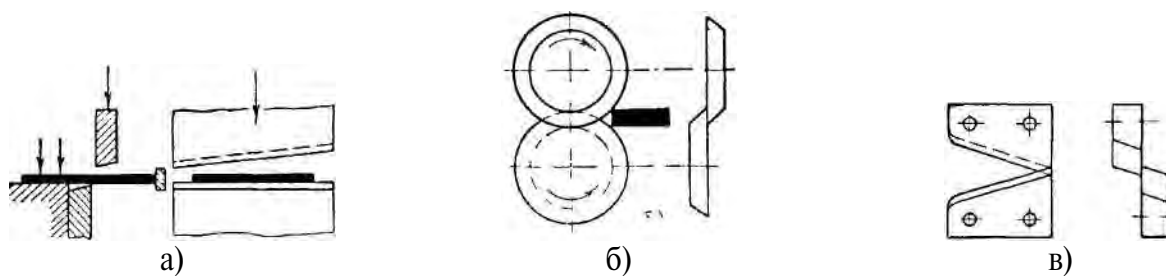


Рисунок 5.2 – Схемы отрезки полос на ножницах

Штучные заготовки из полос получают резкой ножницами или на прессах в штампах (рисунок 5.3).

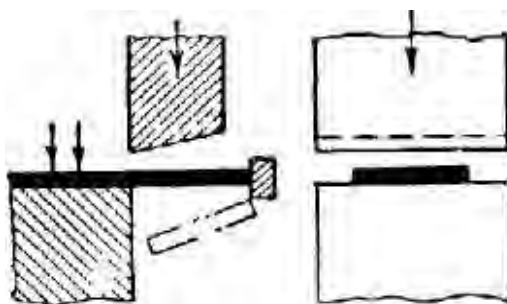


Рисунок 5.3 – Схема отрезки в штампе

Заготовки с контуром из прямых линий, размеры которых имеют допуски по 7-9-му классу точности (если их кромки могут быть с завалами и косиной), отрезаются в так называемых «безотходных» штампах, т. е. без перемычек между отрезаемыми заготовками.

## 5.2. Вырубка

Представляет собой получение плоских деталей отделением части материала по замкнутому контуру. Вырубкой в штампах можно получать детали, ширина, длина или диаметр которых больше 1,5 толщины материала. Если деталь имеет выступы, то размеры их должны быть больше 1,5 толщины материала. Заготовки, две противоположные стороны которых прямолинейны и параллельны друг другу, а две другие стороны криволинейные, получают вырубкой материала (заштрихованный участок на рисунке 5.4) между двумя деталями. Минимальная ширина перемычки  $k$  между деталями в полосе при толщине металла до 1 мм принимается равной 3 мм, а при толщине более 1 мм - от двух до четырех толщин разрезаемого металла.

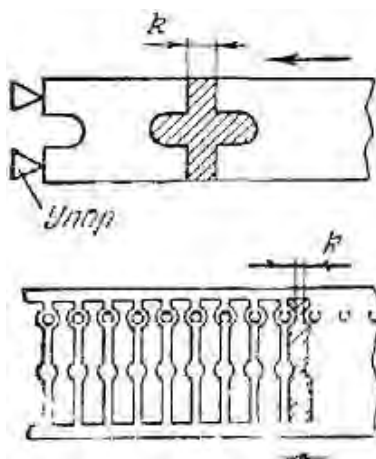


Рисунок 5.4 – Получение заготовки путем вырубки перемычки (в виде отхода)

Вырубка может производиться без перемычек между деталями (безотходная штамповка) (рисунок 5.5) и с перемычками (рисунок 5.6). Без перемычек вырубается детали, имеющие контур из прямых линий, и размеры с допусками по 7-9-му классу точности. Вырубка с перемычками между деталями применяется при необходимости получения размеров 4-7-го класса и при контуре из кривых или ломаных линий.

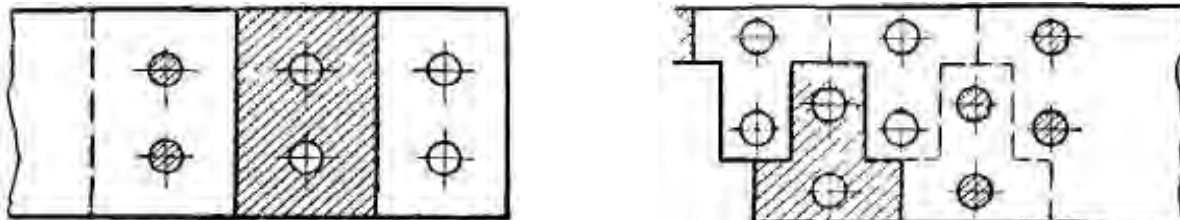


Рисунок 5.5 – Раскрой материала при безотходной вырубке

Вырубка с перемычками между деталями требует большего расхода материала. Поэтому необходимо правильно раскроить полосу.

Расположение деталей на полосе может быть прямым, наклонным, встречным (детали расположены одна против другой), комбинированным и многорядным.

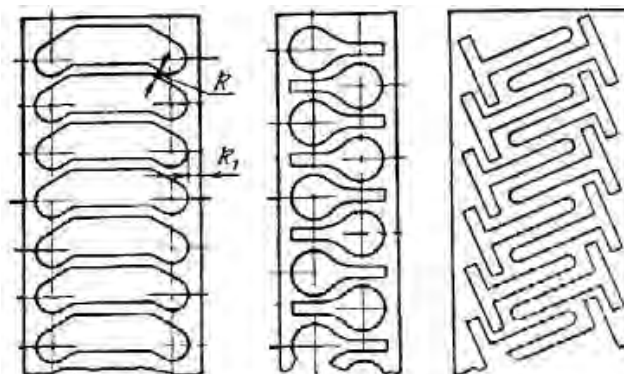


Рисунок 5.6 – Раскрой материала при вырубке с перемычками (отходами)

Показателем, характеризующим правильность раскроя материала, служит коэффициент его использования

$$k = \frac{nf}{F} \cdot 100, \%$$

где  $n$  - число деталей из полосы-заготовки;

$f$  - площадь вырубаемой детали, мм<sup>2</sup>;

$F$  - площадь полосы-заготовки, мм<sup>2</sup>.

### 5.3. Пробивка

Отличается от вырубке тем, что отделяющаяся часть материала идет в отход, а оставшаяся представляет собой деталь. Пробивкой образуют отверстия в деталях или в полосе.

При вырубке и пробивке важно иметь правильный зазор между пуансоном и матрицей, иначе качество поверхности среза детали получается низким (образуются заусенцы) и стойкость штампов резко уменьшается.

## 5.4. Надрезка

Надрезкой называется частичное отделение материала по незамкнутому контуру. Она позволяет получать на деталях языки различного вида (рисунок 5.7). Детали надрезают штампом со специальной заточкой пуансонов только по части контура с последующей отгибкой этой части под тем или иным углом.



Рисунок 5.7 – Надрезки на деталях, полученные в штампах

## 5.5. Зачистка

Применяется для получения у предварительно вырубленной заготовки точных размеров, гладкой поверхности среза и острых кромок.

Существуют три способа зачистки: обычная - снятием припуска (рисунок 5.8а); совмещенная с вырубкой (рисунок 5.8б); обжимкой в конусной матрице (рисунок 5.8в).

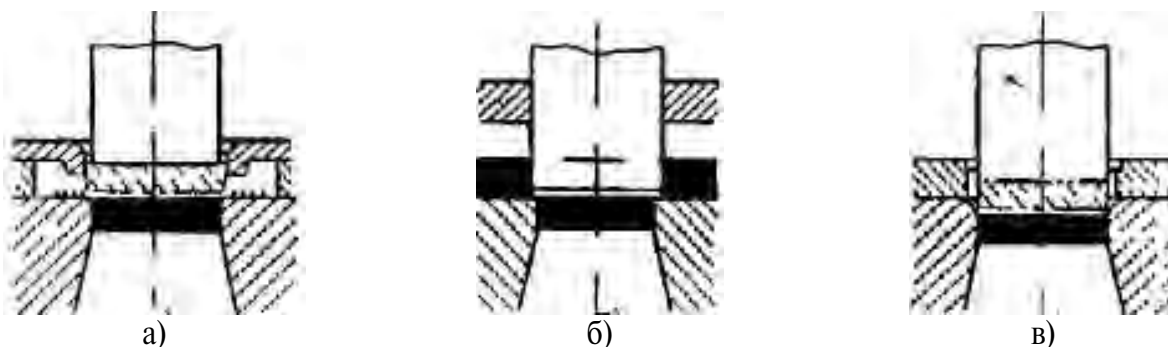


Рисунок 5.8 – Способы зачистки в штампах

Точность зачистки для толщин от 1 до 3 мм составляет 0,02-0,03 мм.

## 5.6. Калибровка

При калибровке пуансоном в штампе с поверхности детали снимается стружка в виде трубки. На рисунке 5.9 показаны три последовательные стадии образования стружки. После калибровки отверстия получаются с чистой поверхностью.

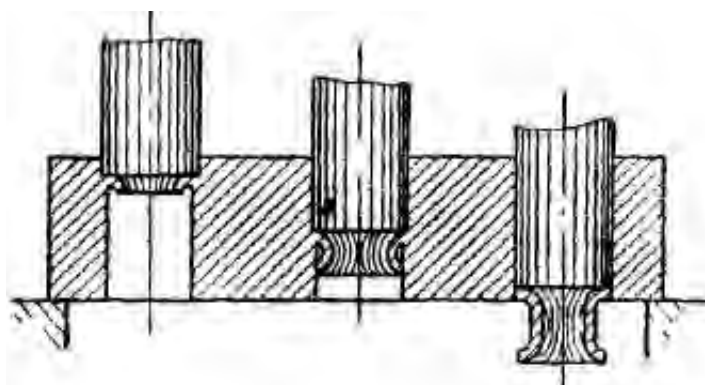


Рисунок 5.9 – Схема последовательного процесса калибровки

Припуск на калибровку составляет 8-12% толщины детали. Калибровкой получают отверстия с высокой точностью межцентровых расстояний в плоских деталях (например, в платинках и основаниях).

Кроме калибровки со снятием стружки, применяется также калибровка отверстий специальным инструментом - дорном (рисунок 5.10а) или шариком (рисунок 5.10б). Диаметральный припуск при обработке без снятия стружки составляет 0,05-0,1 мм. Точность диаметра отверстия колеблется в пределах 0,01-0,03 мм.



Рисунок 5.10 – Схема калибровки без снятия стружки

## 5.7. Гибка

На рисунке 5.11 показана последовательность гибки.

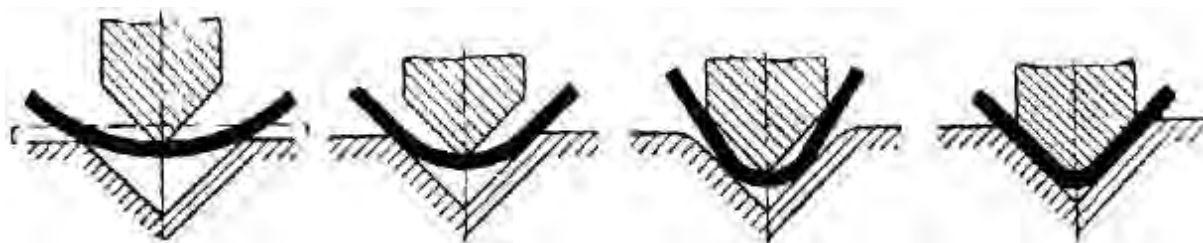


Рисунок 5.11 – Схема последовательного процесса гибки

Гибка является сложным процессом одновременного сжатия одних и растяжения других волокон металла. Волокна, расположенные ближе к пуансону, сжимаются в продольном направлении и растягиваются в поперечном; волокна, находящиеся ближе к матрице, растягиваются в продольном направлении, а в поперечном сужаются.

Гибка сопровождается упругой деформацией (т. е. пружинением заготовки после снятия ее со штампа).

При малых радиусах гибки во избежание трещин целесообразно применять нагрев. Линиигиба заготовки должны быть расположены поперек или под углом  $45^\circ$  к направлению проката, что учитывает при раскрое материала. Нельзя гнуть заготовку, имеющую большие заусенцы. Заготовка должна укладываться в штампе таким образом, чтобы заусенцы были

направлены внутрь угла гибки, в противном случае неизбежно образование трещин.

## 5.8. Правка

Полосы и заготовки после отрезки или вырубki получаются искривленными и должны быть выправлены.

Штучные заготовки правят на фрикционных и чеканочных прессах, а полосы - на специальных станках.

## 5.9. Вытяжка

Осуществляется в вытяжных штампах на эксцентриковых прессах простого или двойного действия.

Вытяжка на прессах простого действия бывает с прижимом и без прижима. Необходимость применения прижима для устранения образования складок определяется отношением

$$k_n = \frac{d}{D} \cdot 100, \%$$

где  $d$  - толщина вытягиваемого материала, мм;

$D$  - диаметр заготовки, мм.

Для первой вытяжки прижим применяют, если  $k_n < 1,5-2,0$ , а для второй и последующих, если  $k_n < 1,0-1,5$ . Различают два вида вытяжки:

- 1) с преднамеренным утонением стенок, т. е. уменьшением толщины материала;
- 2) без утонения, т. е. без преднамеренного изменения толщины материала.

Вытяжка тонкостенных деталей сложной формы осуществляется в штампах с применением резины, сыпучих тел или жидкости.

## 5.10. Штамповка истечением

Сущность экструдинг-процесса заключается в том, что материал заготовки, уложенной в углубление матрицы, под давлением пуансона и развивающейся при этом теплоты приходит в пластическое состояние и течет вверх, навстречу движению пуансона (рисунок 5.12а), или вниз, по направлению движения пуансона (рисунок 5.12б). Первое называется **обратным**, а второе **прямым истечением**.

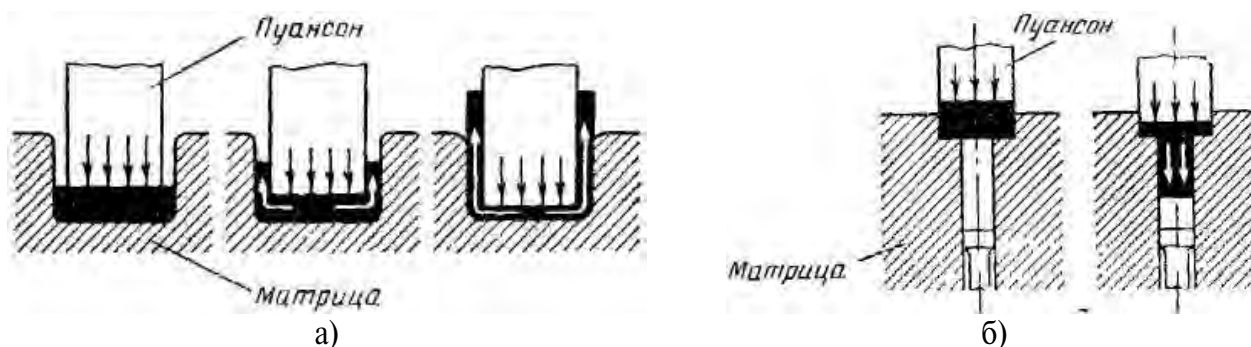


Рисунок 5.12 – Последовательность процесса штамповки истечением

Контур заготовки соответствует форме поперечного сечения детали; толщина заготовки находится по формуле

$$a = \frac{v}{F}, \text{ мм}$$

где  $v$ - объем готовой детали (с учетом припуска на обрезку), мм<sup>3</sup>;  
 $F$  -площадь заготовки, мм<sup>2</sup>.

Процесс штамповки истечением происходит почти мгновенно (за 1/20-1/40 секунды) при скорости истечения металла 500-700 м/сек.

### 5.11. Выдавливание

Когда изготовление вытяжных штампов экономически не оправдывается или заданную форму детали невозможно получить штамповкой, применяют выдавливание на токарно-давильных станках.

Выдавливание обычно ведется в несколько переходов. Точность получаемых размеров находится в пределах от 0,2 до 0,5 мм.

К частным случаям выдавливания относятся накатывание на полых деталях резьбы и изготовление гофрированных мехов.

### 5.12. Рельефная формовка (штамповка)

Выполняют на эксцентриковых и гидравлических прессах при работе штампа «в упор». Поэтому к точности размера заготовки по толщине предъявляют повышенные требования. Глубокий рельеф выполняют в несколько операций, причем гофры штампуют начиная с середины заготовки, что определяется утяжкой материала, из-за чего контур заготовки искажается, что устраняют последующей обрезкой. Для облегчения процесса часто применяют промежуточный отжиг.

Частным случаем рельефной штамповки является изготовление мембран.

### 5.13. Отбортовка

На плоской или полый заготовке с предварительно пробитым отверстием отбортовкой получают отверстие большего размера с цилиндрическим или иным бортом (рисунок 5.13). Отбортовка может выполняться и при отсутствии предварительно пробитого отверстия. Высота борта должна быть не менее 1,5-2 толщин материала.



Рисунок 5.13 – Отбортовка отверстия

Во избежание разрыва металла на заготовке после пробивки отверстия перед отбортовкой должны быть сняты заусенцы.

При значительной толщине заготовку отжигают.

### 5.14. Чеканка

Представляет собой обжатие металла для получения гладких поверхностей, точных размеров и разного вида рельефов (цифр, надписей, художественных рисунков).

Чеканку выполняют в специальных штампах на чеканочных или фрикционных прессах.

При чеканке по плоскости обжимаются только отдельные параллельные плоскости детали. При этом форма заготовки меняется из-за увеличения размеров в направлениях, перпендикулярных давлению.

Чеканка по объему выполняется в закрытых штампах. В этом случае обжимается весь объем заготовки с вытеснением избыточного металла в заусенец, который затем удаляют. При объемной чеканке получаемые размеры имеют высокую степень точности.

Может осуществляться и комбинированный процесс: сначала деталь подвергают объемной чеканке, а затем - плоскостной.

Качество и точность деталей, получаемых чеканкой, зависят от состояния поверхностей заготовки и величины припусков. Заготовки подвергают травлению, пескоструйной очистке или галтовке. Материал, требующий значительного обжатия, предварительно отжигают. Припуски зависят от размеров заготовки и колеблются от 0,1 до 0,7 мм.

### 5.15. Объемная штамповка

Основными операциями, относящимися к этому процессу, являются высадка (наиболее распространена), прессование и кернение.

Примером высадки сплошной заготовки может служить получение головки винта на стержне, а примером высадки наружного утолщения на полой заготовке - деталь, изображенная на рисунке 5.14.

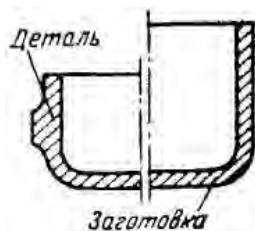


Рисунок 5.14 – Высадка наружного утолщения на полой заготовке

Размеры заготовки определяют исходя из равенства с объемом высаживаемой детали.

Число переходов при высадке зависит от количества материала, потребного для образования утолщения. Чем большие размеры имеет высаживаемое утолщение, тем больше необходимо переходов.

### 5.16. Комбинированная штамповка

Это штамповка, состоящая из нескольких технологически различных процессов, выполняемых в одном штампе последовательного или совмещенного действия.

На рисунке 5.15 приведена схема последовательной штамповки сложной детали, вырубаемой в комбинированном штампе последовательного действия за три перехода.

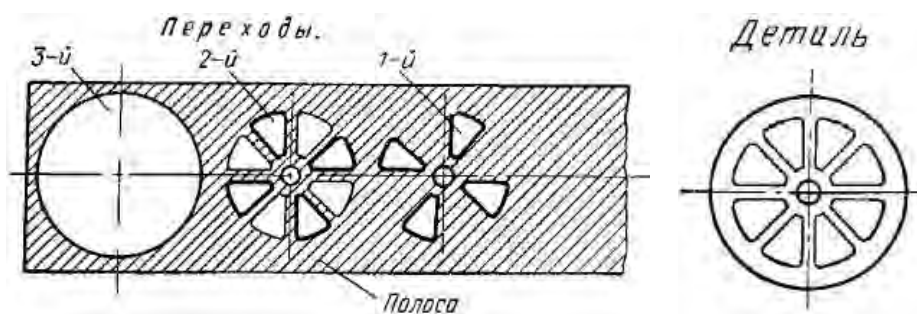


Рисунок 5.15 – Схема последовательной вырубki в комбинированном штампе за три перехода

Обычно число переходов определяется в зависимости от ширины перемычек: чем уже перемычка между кромками детали, тем большее число переходов требуется для ее вырубki.



## 6. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИБОРОВ

### 6.1. Постоянные магниты

В приборостроении широко применяются постоянные магниты из-за их большого КПД и постоянства создаваемого магнитного потока.

#### 6.1.1. Типовые формы магнитов

В зависимости от конфигурации постоянные магниты можно разделить на (рисунок 6.1):

- а) подковообразные (поз. 1-4);
- б) колоколообразные (поз. 5, 6);
- в) призматические (поз. 7-11);
- г) кольцевые (поз. 12-14);
- д) цилиндрические (поз. 15-17);
- е) звездообразные (поз. 18-21);
- ж) рамкообразные (поз. 22, 23);
- з) специальной формы (поз. 24-31).

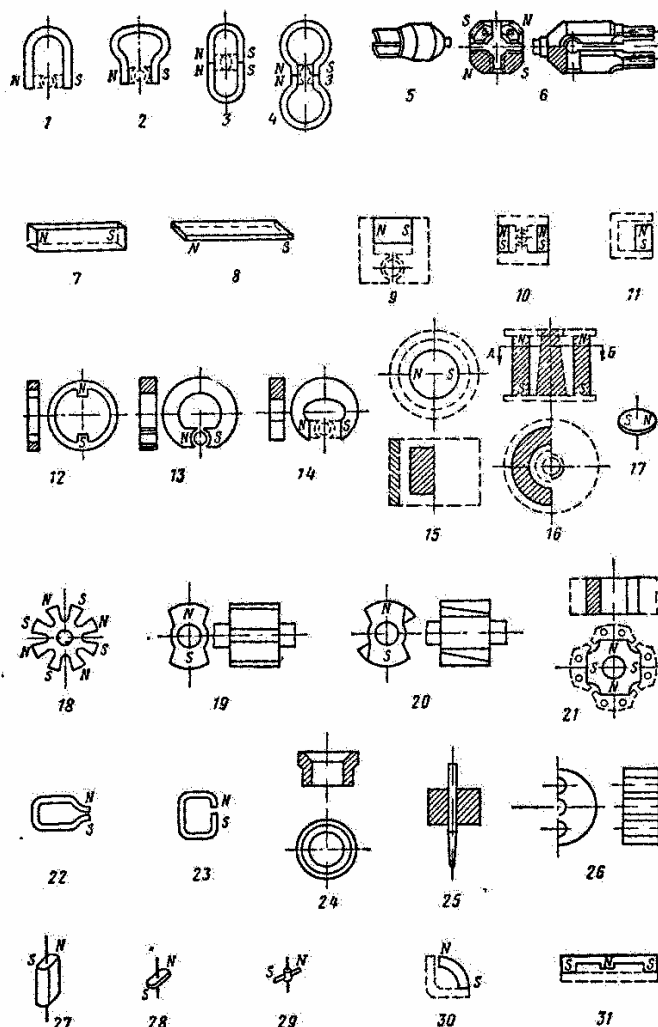


Рисунок 6.1 – Конструктивные формы постоянных магнитов

Это деление условно, так как иногда, чтобы отнести магнит к какой-либо группе, приходится учитывать не только его форму, но и расположение магнитной оси.

### 6.1.2. Материалы для магнитов

Материалы для постоянных магнитов характеризуются тремя основными величинами: коэрцитивной силой  $H_c$  (в эрст), остаточной индукцией  $B_r$  (в гс) и удельной магнитной энергией (в эрг/см<sup>3</sup>).

Эти характеристики магнитов находятся в прямой зависимости от технологии изготовления. Способ обработки магнита (литье, ковка, штамповка, прессование, спекание и т. д.) обуславливает выбор того или иного материала для магнита данного типа.

Большинство материалов, применяемых для изготовления постоянных магнитов, имеют  $B_r = 2000-15000$  гс и  $H_c = 50-5000$  эрст.

По технологическим признакам материалы для магнитов можно разделить на несколько основных групп.

1. Ковкие, закаливаемые на мартенсит, стали: углеродистая, хромистая, вольфрамовая и кобальтовая, хромокремнистая и др.

2. Ковкие безуглеродистые сплавы на основе  $\delta$ -железа: железокобальтмолибденовые и железомолибденовые.

3. Литые твердые сплавы на основе сплавов железо-никель-алюминий с медью, кремнием, кобальтом, титаном (сплавы алии, алниси, алнико, магнико и др.). Имеют хорошие характеристики и экономичны.

4. Ковкие, поддающиеся холодной прокатке и волочению, сплавы железо-никель-медь и кобальт-никель-медь, железомарганцевые сплавы с малыми присадками титана или алюминия.

5. Сплавы железо-кобальт-ванадий в виде тонких лент и проволоки, получаемые холодной прокаткой и волочением.

6. Сплавы на основе железо-платина и кобальт-платина, по своим свойствам приближающиеся к сплаву магнико. Высокая стоимость.

7. Сплавы на основе серебро-марганец-алюминий.

8. Прессованные магниты из порошков и сплавов алии, алнико и др., не требующие механической обработки.

9. Металлокерамические магниты из сплавов алии, алнико, магнико с несколько более низкими свойствами, чем у литых.

10. Прессованные и спеченные магниты из окислов кобальта и железа ( $\text{CoO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_3\text{O}_4$ ).

### 6.1.3. Технология изготовления магнитов

Постоянные магниты из хромистой и вольфрамовой сталей изготавливаются из проката гибкой или ковкой.

Магниты из высококоэрцитивных сплавов получают литьем, спеканием (металлокерамика) или прессованием (металлопластика).

#### 6.1.3.1. Изготовление магнитов из алии и алниси литьем

**Состав шихты.** Вредные примеси ухудшают магнитные свойства сплава, поэтому особое внимание обращается на чистоту компонентов, а также на минимальное содержание углерода. Поэтому для шихты применяют малоуглеродистое железо Армко. Как компоненты применяют алюминий, никель, медь, кобальт определенных марок.

Плавка ведется в высокочастотных печах. Во избежание окисления и выгорания компонентов плавку ведут максимально быстро.

Перед загрузкой тигля на его дно кладут битое стекло, которое, расплавляясь, улучшает шлакование. Для приготовления сплава в тигель загружают железо и расплавляют его. Затем добавляют стекло и вводят никель через слой стекляного шлака или после его удаления. Вслед за этим вводят медь. В конце плавки добавляют алюминий, перед загрузкой которого шлак убирают.

Металл выпускается при 1480-1520° С и поступает в ковш, предварительно нагретый до 600-700° С, из которого немедленно разливается по опокам.

Магниты отливаются в землю и по выплавляемым моделям.

**Обрубка и зачистка отливок.** Сплавы алнико и магнико хрупки, поэтому литники отбиваются молотком. Зачистка осуществляется шлифовальными кругами. Очистка от пригара на пескоструйном аппарате.

Механическая обработка заготовок магнитов из алии осуществляется шлифованием. Из-за твердости сплава алии абразив круга должен иметь большую твердость при сравнительно мягкой связке. Применяют карборундовые круги с бакелитовой или резиновой связкой. При шлифовании кромки магнитов часто выкрашиваются, поэтому за один проход снимают не более 0,05-0,08 мм металла.

**Термообработка.** Оптимальные магнитные свойства материала обеспечиваются только специальной термической обработкой, выполняемой после отливки магнитов.

Порядок термообработки магнита из сплава магнико следующий:

- 1) предварительный нагрев до 600-700° С в муфельной печи;
- 2) перенесение магнитов в графитовый тигель, нагретый до 1200-1250° С;
- 3) выдержка в течение 5 мин. при выключенной установке;
- 4) нагрев до температуры закалки 1270-1300° С;
- 5) выдержка при температуре закалки в течение 10 мин.;
- 6) перенесение магнита для охлаждения в магнитное поле и охлаждение до полного потемнения;
- 7) отпуск при 600 50° С (в муфельной печи).

**Методы намагничивания.** Для намагничивания магнитов из сплава алии необходимо иметь напряженность поля не менее 5000 эрст. Для уменьшения требуемого напряжения можно вести намагничивание в постоянном магнитном поле с наложением переменного поля. Магниты следует намагничивать в собранном виде, т. е. вместе со всей замыкающей магнитный поток арматурой.

**Старение и стабилизация.** Магнитам свойственно магнитное старение, т. е. снижение с течением времени остаточного магнитного потока. Для стабилизации потока, при которой обеспечивается его снижение в течение одного-двух лет не более чем на 1-1,5%, необходимо магнит, намагничиваемый до насыщения, затем размагнитить на 10-15%.

#### 6.1.4. Изготовление магнитов спеканием (металлокерамика)

Магниты, получаемые спеканием, прочны, магнитный поток в них распределяется равномерно, они не требуют последующей трудоемкой обработки (шлифования).

Для получения заготовки порошковый материал смешивают в определенных пропорциях и прессуют на прессах. Для спекания заготовки помещают на поддон и подают в печь непрерывного действия сначала в горячую зону, затем в дополнительную камеру для охлаждения. Температура спекания близка к точке плавления сплава.

Применяется также метод получения металлокерамических заготовок, из которых после термообработки и прокатки в полосы штампуют магниты. При этом способе повышается плотность магнитов и производительность их изготовления.

Спекаемые магниты имеют мелкозернистую структуру, поэтому в 5-9 раз прочнее на

изгиб и разрыв, чем литые магниты, при таких же магнитных свойствах.

### 6.1.5. Изготовление магнитов прессованием (металлопластика)

Магниты, полученные прессованием, обладают следующими достоинствами:

- 1) отпадает механическая обработка;
- 2) возможна запрессовка сложной арматуры, в частности, изготовление подвижных магнитов с осью;
- 3) отсутствуют раковины, трещины, характерные для литых магнитов;
- 4) состав магнита однороден.

Прессованные магниты могут изготавливаться из порошка, получаемого после размельчения отходов (литников) при литье магнитов.

**Недостаток:** пониженная остаточная индукция, составляющая 55-60% остаточной индукции литого магнита и зависящая от давления при прессовании, уменьшенная удельная магнитная энергия.

Подготовка порошка для прессования включает дробление в дробилках или шаровых мельницах, просев через сита (размер зерен 250-800 мк), смешение с бакелитовой смолой (3-6%). В качестве связующих материалов могут применяться и другие смолы, а также цементы, жидкое стекло и пр.

Прессование магнитов аналогично прессованию пластмасс.

### 6.1.6. Классификация магнитопроводов

Магнитопроводы - это сердечники трансформаторов, дросселей и контурных катушек, изготовленные из магнитно-мягких материалов, обладающих высокой магнитной проницаемостью, небольшой коэрцитивной силой и малыми потерями на гистерезис. По применению в электрических цепях различают низкочастотные и высокочастотные магнитопроводы. Низкочастотные магнитопроводы изготавливают из электротехнической стали и железоникелевых сплавов, называемых пермаллоями. Высокочастотные магнитопроводы формируют из магнитодиэлектриков и ферритов.

По конструктивно-технологическим признакам магнитопроводы подразделяют на пластинчатые, ленточные и формованные (рисунок 6.2) или прессованные из магнитных металлических и неметаллических порошков.

По форме выделяют три основных типа магнитопроводов: броневые, стержневые и тороидальные.

**Броневые или Ш-образные магнитопроводы** применяют в трансформаторах малых и средних размеров. Катушки устанавливают на средний стержень. Магнитопровод имеет высокий коэффициент заполнения обмотки проводом.

**Магнитопроводы стержневого типа** применяют в мощных трансформаторах. Каждый стержень несет половину обмотки. Магнитопровод такого типа имеет лучшее по сравнению с Ш-образным магнитопроводом охлаждение обмотки.

Магнитный поток в **тороидальных магнитопроводах** характеризуется большей индукцией и не создает внешнего потока рассеяния. Обмотка распределяется по всей длине магнитопровода, что улучшает условия охлаждения. Магнитопроводы тороидального типа более компактны и имеют меньшую массу.

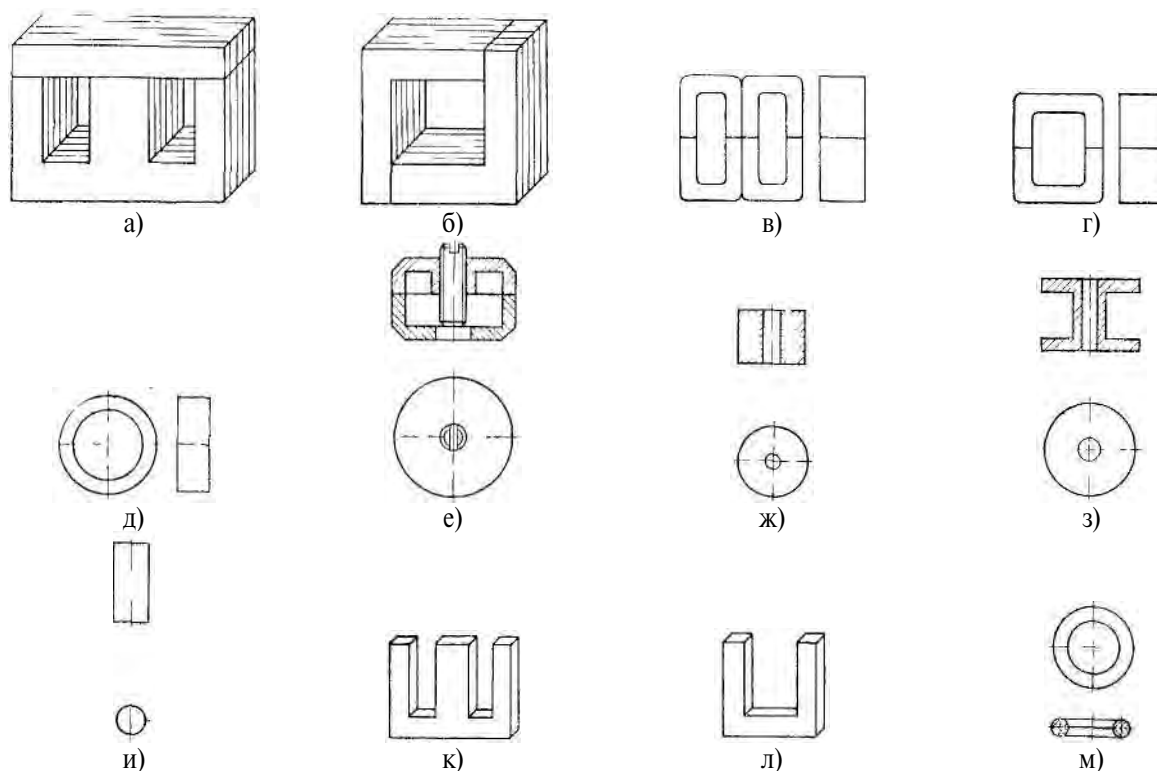


Рисунок 6.2 – Конструкции магнитопроводов:

- а – пластинчатый броневой; б – пластинчатый стержневой; в – ленточный броневой; г – ленточный стержневой; д – ленточный тороидальный; е – формованный замкнутый чашечный с подстроечником; ж – формованный цилиндрический с отверстием; з – формованный шпелевидный; и – формованный гладкий подстроечник; к – формованный Ш-образный; л – формованный П-образный; м – формованный тороидальный (кольцевой)

### 6.1.7. Изготовление формованных магнитопроводов

Формованные магнитопроводы изготавливают из магнитодиэлектриков и ферритов. Магнитодиэлектрики получают из порошков металлических ферромагнитных материалов, частицы которых изолируются одна от другой и связываются в единое целое с помощью различных диэлектриков. Наиболее распространены магнитодиэлектрики на основе карбонильного железа и альсифера - сплава железа, алюминия и кремния. Ферриты представляют собой спеченную смесь окиси трехвалентного железа с окислами никеля с цинком или марганца с цинком.

Технологический процесс изготовления магнитодиэлектрических сердечников состоит из следующих основных операций: приготовление массы; формование; термообработка; пропитка; контроль.

**Приготовление массы:** порошок карбонильного железа или альсифера зернистостью до 20 мкм смешивают с изолятором - полистиролом (8-16% от общей массы) или бакелитовой смолой (3-4% от общей массы). Сердечники с бакелитовой смолой изготавливают на гидравлических прессах методом холодного прессования в пресс-формах. Отпрессованные сердечники для снятия внутренних напряжений выдерживают на воздухе около суток, а затем для полимеризации связки помещают в печь на 6-8 ч при 130-140° С. Для предохранения сердечников от коррозии и для повышения влагостойкости сердечники в течение 2 ч пропитывают в парафине.

Сердечники с полистиролом изготавливают горячим прессованием или литьем под давлением при 180-200° С.

Технологический процесс изготовления ферритовых сердечников состоит из следующих операций: приготовление шихты; формование; выжигание парафина; спекание; термообработка; контроль. Для изготовления никель-цинковых ферритов порошки окиси

железа  $Fe_2O_3$ , окиси цинка  $ZnO$  и закиси никеля  $NiO$  путем двукратного помола размельчаются и перемешиваются. Затем в массу вводится связующее вещество - парафин (5-12 % от общей массы). Наиболее распространенный способ формования ферритов - двустороннее прессование на гидравлических прессах. Удаление парафина происходит путем его выжигания с постепенным нарастанием температуры от 20 до 500° С в течение суток. Спекание или обжиг ферритов производят в печах с рабочей температурой до 1350° С в течение 4 часов. Скорость подъема температуры составляет 200-300° С/ч. После детали охлаждаются вместе с печью.

Обоженные детали старят нагревая до 200° С с выдержкой 2-3 ч, затем охлаждая до комнатной температуры в течение 4-6 ч. Для повышения влагостойкости ферритов их пропитывают бакелитовым лаком.

### 6.1.8. Изготовление пластинчатых магнитопроводов

Для пластинчатых и ленточных магнитопроводов применяют электротехническую сталь и железоникелевые сплавы (пермаллои).

Технологическая схема изготовления пластинчатых магнитопроводов приведена на рисунке 6.3.



Рисунок 6.3 – Технологическая схема изготовления пластинчатых магнитопроводов

Резка полос производится на гильотинных ножницах. Штамповка пластин осуществляется на эксцентриковых прессах в штампах последовательного или совмещенного действия. Форма пластин приведена на рисунке 6.4.

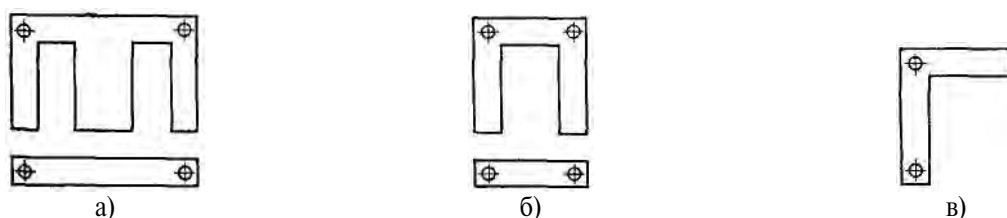


Рисунок 6.4 – Форма пластин магнитопроводов:

а – Ш-образная и замыкающая пластины сердечника броневое типа; б – П-образная и замыкающая пластины для сердечника стержневого типа; в – Г-образная пластина для сердечника стержневого типа

После вырубki пластин и их обезжиривания в бензине, производится снятие заусенцев. Применяют различные способы зачистки: шлифование, вальцевание, электрополирование.

Затем пластины подвергают отжигу для снятия внутренних напряжений и восстановления первоначальных магнитных свойств. Пластины из электротехнической стали выдерживают при  $960-980^{\circ}\text{C}$  в течение 2-4 часов. Пластины из пермаллоя выдерживают в течение 3-10 часов при  $1100-1150^{\circ}\text{C}$ . Электроизоляционные покрытия пластин осуществляют лакированием, оксидированием или фосфатированием.

Для уменьшения потерь от вихревых токов пластины изолируются. Когда пластины необходимо склеить в монолитный пакет для уменьшения «гудения» при работе на переменном токе, пластины изолируются клеем БФ-4.

Сборка пакетов магнитопроводов определяется способом крепления пластин в пакете (рисунок 6.5).

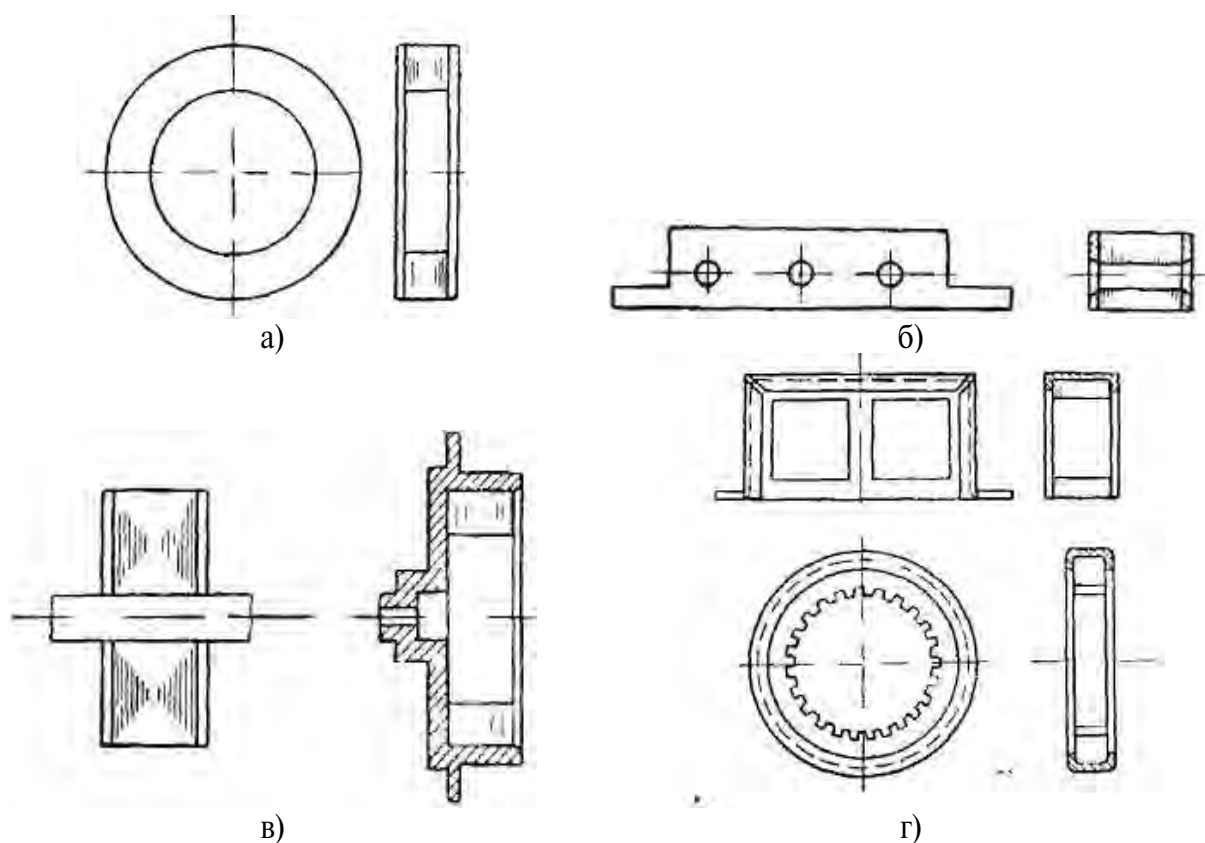


Рисунок 6.5 – Способы крепления пластин в пакете магнитопроводов:

а – склеивание пластин в пакет при помощи изолирующих лаков и клеев; б – склеивание пластин в пакет; в – запрессовка на вал, запрессовка во втулку, в деталь прибора; г – скрепление специальной обоймой по внешнему контуру

Перед сборкой пакет комплектуется, т.е. подбирается нужное количество основных пластин магнитопровода, крайних и изолирующих листов. Комплектование обеспечивает необходимую толщину пакета. Для получения более стабильной толщины пакет следует

комплектовать не по количеству пластин, а взвешиванием комплекта.

Пакет укладывается в приспособлениях, обеспечивающих точное взаимное положение пластин. Укладка может производиться по внешнему контуру пластин, по отверстиям и пазам пластин или по специально выштампованным знакам.

Пластины укладываются так, чтобы изолированная сторона одной пластины прилегла к неизолзированной стороне другой или пластины изолированные с двух сторон, должны чередоваться с неизолзированными пластинами.

Для увеличения коэффициента заполнения пакет прессуется на гидравлическом или пневматическом прессе.

Прессование осуществляется в два приема: предварительное (прессовка) и окончательное (допрессовка).

### 6.1.9. Изготовление ленточных магнитопроводов

Применение ленточных магнитопроводов вместо пластинчатых позволяет сократить размеры трансформаторов и дросселей на 30-50 %. Также исключаются операции штамповки, комплектования и сборки пакетов. Ленточные магнитопроводы делят на две группы: витые (рисунок 6.6) и гнутые.

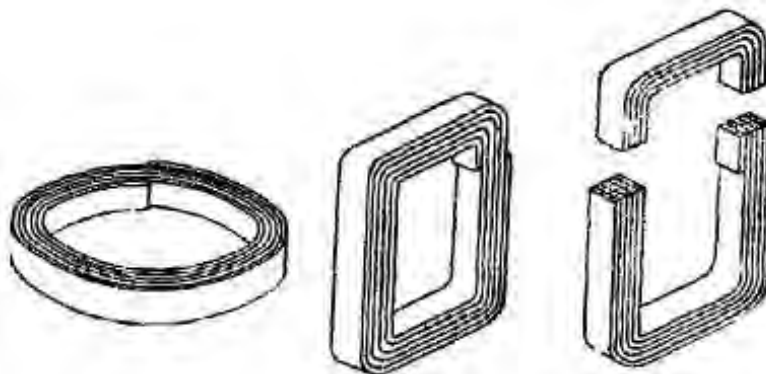


Рисунок 6.6 – Конструкции витых магнитопроводов

Магнитопроводы из ленточной стали навивают на специальных станках (рисунок 6.7).

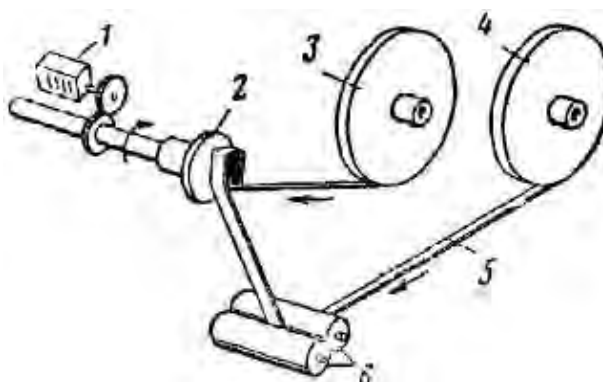


Рисунок 6.7 – Схема наматывания витых магнитопроводов

Перед навивкой ленту протирают мягкой хлопчатобумажной тканью, смоченной в растворителе (бензине, ацетоне). Лента 5 с бобины 4 проходит через ролики 6 и наматывается на оправку 2. Между витками ленты прокладывается конденсаторная бумага толщиной 0,02 мм, которая сматывается с бобины 3. Натяжение ленты создается роликами 6. Для отсчета витков на станке имеется счетчик 1. После наматывания сердечник закрепляется проволокой и снимается с оправки. Сердечник отжигается в атмосфере водорода или в вакууме. При отжиге



конденсаторная бумага выгорает и между витками образуются зазоры, которые затем пропитывают спиртовым раствором клея БФ-4 или бакелитовым лаком. Затем сердечник просушивают.

Сердечники можно разрезать до отжига корундовым кругом на вулканитовой связке шириной 1-1,5 мм или после отжига и полимеризации анодно-механическим способом. Плоскости разреза шлифуются на плоскошлифовальном станке в направлении, параллельном слоям магнитопровода.

После обработки магнитопровод собирается с катушками и скрепляется скобами.

Заготовками для гнутых магнитопроводов служат пластины различной длины, которые затем изгибают пуансоном в специальном приспособлении и таким образом придают магнитопроводу нужную форму (рисунок 6.8).

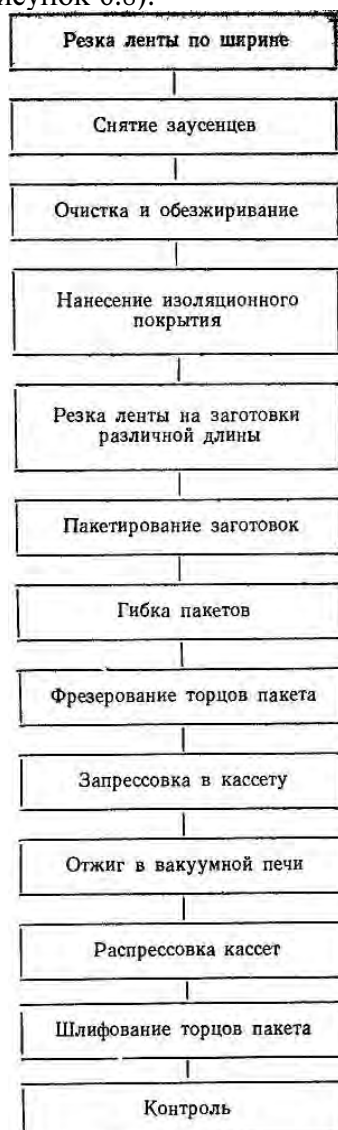


Рисунок 6.8 – Технологическая схема изготовления гнутых магнитопроводов

## 6.2. Намотки

Элементы, имеющие токопроводящие витки, называются намотками. Требования к намоткам:

- 1) требуемое общее сопротивление;
- 2) заданное число витков;
- 3) определенную укладку витков;

- 4) электрически прочную изоляцию без повреждений;
- 5) определенное сопротивление изоляции;
- 6) заданную термостойкость.

Технологический процесс изготовления намоток состоит из изготовления проволоки и каркасов, наматывания, пропитки, сушки и контроля.

В основу классификации намоток и намоточных станков положен технологический процесс наматывания, который характеризуется взаимосвязью движений изготавливаемой намотки и проволоки.

### 6.2.1. Классификация намоток

Все разнообразные виды намоток можно разделить на три группы:

- 1) открытые, или катушечные;
- 2) закрытые, или кольцевые;
- 3) пазовые.

**Открытой, или катушечной** называется намотка простой формы, полученная навиванием проволоки на каркас при его вращении (рисунок 6.9).

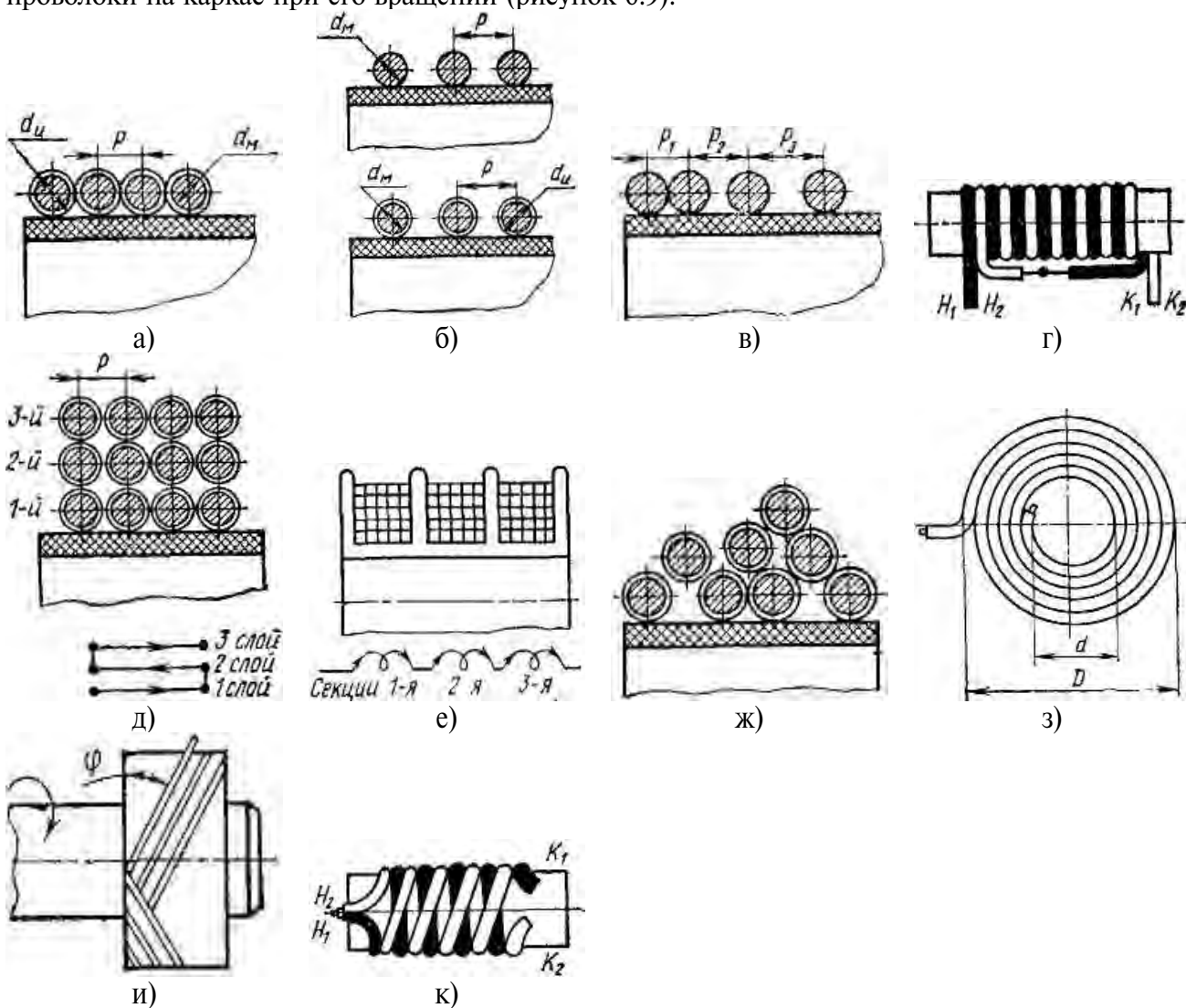


Рисунок 6.9 – Открытые обмотки:

а – однослойная виток к витку; б – однослойная шаговая; в – однослойная с переменным шагом; г – однослойная бифилярная; д – многослойная несекционированная; е – многослойная секционированная; ж – многослойная внавал; з – многослойная спиральная плоская; и – многослойная универсальная; к – многослойная перекрестная:  $H_1$ ,  $H_2$  и  $K_1$ ,  $K_2$  – соответственно начало и конец первой и второй обмоток

**Закрытой, или кольцевой,** называется **намотка**, получение витков которой возможно только проведением проволоки внутрь кольцевого каркаса (рисунок 6.10).

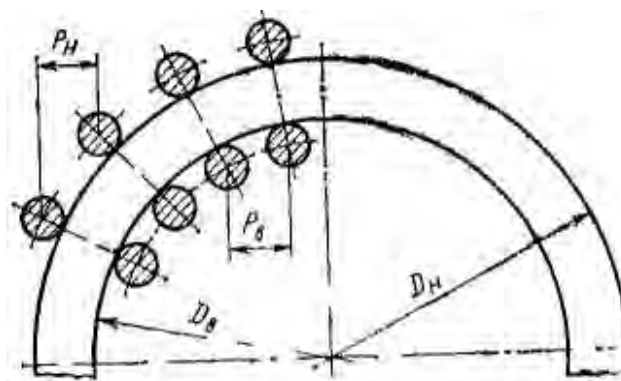


Рисунок 6.10 – Кольцевая обмотка:

$D_{в}$  и  $D_{н}$  – соответственно внутренний и наружный диаметры каркаса;  $P_{в}$  и  $P_{н}$  – шаг по внутреннему и наружному диаметрам каркаса

Примером **пазовой намотки** может служить непрерывная намотка пазов статоров или роторов гиromоторов. При наматывании последних проволока должна проходить в узкую щель паза; при этом должна быть обеспечена раскладка проволоки в самом пазу. Кроме того, после окончания наматывания одной секции и перехода к другой секции производится точный поворот каркаса на одно шаговое деление.

### 6.2.2. Применяемые материалы и их технологические свойства

При изготовлении обмоток применяют наматываемые, изоляционные и пропиточные материалы.

**Наматываемый материал** – это провод, проволока, фольга, лента, нитки, укладываемые на каркас или оправку. Обычно применяют медные обмоточные провода диаметром от 0,02 до 2,44 мм, реже алюминиевые. Обмоточные провода могут иметь эмалевое покрытие, покрытие из волокнистых материалов или покрытие из комбинации этих материалов. Эмаль обладает лучшими, чем волокнистые материалы, электроизоляционными свойствами; провода с эмалевым покрытием имеют минимальную толщину по сравнению с другими обмоточными проводами.

Изоляция – вспомогательный материал, необходимый для получения соответствующих электрических, механических и служебных свойств обмотки. Для изоляции катушек и выводов служат кабельная бумага, конденсаторная бумага, стеклоткань, лакоткань.

Пропиточный состав – вспомогательный материал, предназначенный для связывания витков обмотки в монолитный узел. Применяют разнообразные лаки, битумы, компаунды (лучшая защита обмоток по влагостойкости, нагревостойкости и прочности изоляции).

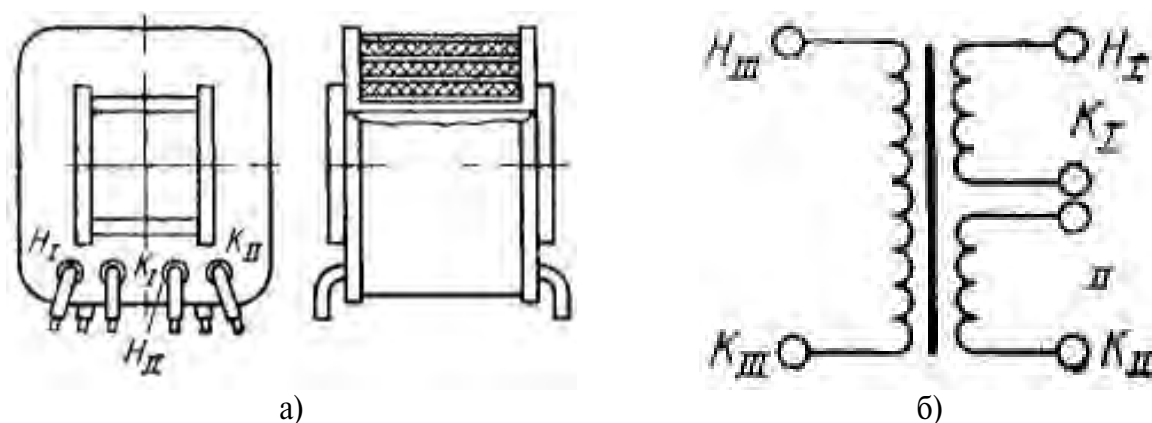
Каркас – основание (постоянное или временное), служащее местом для укладки наматываемого материала. Каркасы изготовляют либо из диэлектриков, либо из алюминия и его сплавов. По конструкции каркасы делят на следующие группы: трубчатые гладкие и с фланцами; каркасы-шпули; плоские; ребристые; кольцевые.

### 6.2.3. Намотка катушки трансформатора

На рисунке 6.11 представлена типовая технологическая схема изготовления катушек. Катушки трансформаторов низкой частоты состоят из многослойных обмоток, уложенных на каркас прямоугольного сечения (рисунок 6.12).



Рисунок 6.11 – Типовая технологическая схема изготовления катушек

Рисунок 6.12 – Катушка трансформатора:  
а – вид катушки; б – схема трансформатора

**Подготовка исходных материалов** включает контроль обмоточных проводов, резку, зачистку и отделку концов монтажных проводов для выводов и отводов, заготовку ленточного электроизоляционного материала (бумага, лакоткань, стеклоткань), заготовку электроизоляционных трубок для изоляции выводов, отводов, мест соединения проводов, приготовление жидкого пропиточного электроизоляционного состава (лаки, компаунды), заготовку вспомогательных материалов (припой, флюсы, клей, нитки и др.).

На каркасе укладывают изоляционную ленту из лакоткани и ее концы закрепляют лаком или клеем БФ-4. С конца обмоточного провода снимают изоляцию и припаивают его к выводу из монтажного провода. Вывод ниткой закрепляется на каркасе и протергивается с

внутренней стороны в отверстие  $H_{III}$ . После этого каркас с оправкой устанавливают на намоточный станок.

**Наматывание** - основная операция технологического процесса. Процессу наматывания предшествует установка катушек (бобин) с проводом; настройка шага и ширины обмотки; установка скорости наматывания; регулировка натяжения провода; установка счетчика на заданное число витков. Вначале наматывают заданное число витков третьей обмотки. Намотку ведут рядами и после каждого ряда прокладывают слой изоляции. Для подпайки ввода обмоточный провод отрезают от катушки, а каркас с третьей обмоткой снимают с оправки. Конец намоточного провода зачищают от изоляции и к нему припаивают ввод. Вывод закрепляют на обмотке льняной ниткой, конец вывода пропускают через отверстие  $K_{III}$  щеки и закрепляют лаком или клеем, а обмотку обертывают двумя слоями ленты из лакоткани. Обмотку, проверяют на прочность закрепления выводов, на отсутствие обрывов и короткозамкнутых витков, определяют сопротивление обмотки. Далее обмотка поступает на намотку второй и первой обмотки, аналогичные намотке третьей обмотки. Первую обмотку обертывают тремя слоями лакоткани.

#### 6.2.4. Намотка каркасных и бескаркасных обмоток

Намотки разделяются на каркасные и бескаркасные.

Положительными качествами бескаркасных намоток являются меньшие габариты, вес и стоимость.

Их недостаток - малая жесткость. Отсутствие жесткого каркаса затрудняет получение намоток с большим числом витков, а также исключает возможность использования каркаса для демпфирования. Для демпфирования в этом случае требуется добавочная намотка 10-20 витков из более толстой проволоки, которая и будет служить демпфером.

Бескаркасные намотки широко применяются для изготовления секций электродвигателей приборов и автоматов с последующей закладкой этих секций в пазы пакета статора или ротора.

Каркасные намотки широко используются в электроприборах, где они выполняют функции катушек, сопротивлений, обмоток, электромагнитов, потенциометров и т. д.

#### 6.2.5. Пропитка, заливка и герметизация намоток

Намотки подвергаются пропитке и сушке. Пропитка намоток связывает отдельные витки в монолитный узел для повышения их эксплуатационных, электрических и механических свойств.

После пропитки намотки покрывают специальными электроизоляционными лаками или эмалями чтобы:

- 1) создать на поверхности намотки механически прочный изоляционный слой, предохраняющий намотку от повреждений при сборке и эксплуатации;
- 2) получить гладкую блестящую пленку на поверхности намотки, предохраняющую ее от загрязнения;
- 3) уменьшить возможность проникновения влаги внутрь намотки;
- 4) защитить основную изоляцию намотки от воздействия масел, эмульсий, паров бензина и других химических реагентов.

Основные требования к пропиточным составам:

- 1) высокие диэлектрические свойства;
- 2) хорошая заполняемость пор и капилляров намоток;
- 3) быстрое затвердение после заполнения пор и капилляров.

Применяется несколько способов пропитки.

1. **Горячее погружение.** Намотки предварительно нагреваются до 60-80° С и погружаются в лак с нормальной температурой. При этом уменьшается вязкость лака и увеличивается его способность проникать в полости намотки. При охлаждении намотки, погруженной в лак, в ее порах и капиллярах создается разрежение, способствующее лучшему заполнению лаком. Это наиболее простой способ пропитки. **Недостатки** - длительность процесса и невозможность полного заполнения узких и глубоких пор и капилляров.

2. **Вакуумная пропитка.** Намотки выдерживаются под вакуумом. После этого их погружают в пропиточный состав, заполняющий освобожденные от воздуха полости. Этот способ применяется при пропитке высоковязкими составами, когда первый способ не дает положительных результатов, а также если перед пропиткой производится вакуумная сушка.

**Недостаток** - необходимость применения специального оборудования.

3. **Пропитка под давлением.** Предварительно просушенные намотки загружаются в специальные котлы с пропиточным составом, в которых и производится пропитка при давлении выше атмосферного. Оно способствует ускорению проникновения пропиточного состава в поры и капилляры намоток.

4. **Комбинированная пропитка.** Этот способ является сочетанием второго и третьего способов. Дает хорошие результаты при применении компаундов и высоковязких лаков, обеспечивая наиболее полное проникновение пропиточного состава в поры и капилляры намотки.

Лакирование намоток - нанесение на их поверхность слоя электроизолирующего лака или эмали, толщиной 0,05-0,10 мм.

Методы лакирования:

1. Нанесение лака или эмали с помощью пульверизатора. Этот способ удобен, но не обеспечивает надежного покрытия труднодоступных мест.

2. Способ окунания (погружения). Намотки погружаются на несколько минут в лак. Способ окунания удобен при лакировании отдельных намоток (не в собранном виде с другими узлами) и при покрытии труднодоступных мест дает лучшие результаты, чем способ пульверизации.

3. Нанесение лака или эмали с помощью кисти. При сложной конфигурации намотки трудно обеспечить полное покрытие ее поверхности. Процесс непроизводителен.

После лакирования намотки в зависимости от типа покрытия сушатся на воздухе или в печи.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ачкасов, Н.А. Технология точного приборостроения: учебник / Н.А. Ачкасов, В.С. Терган, В.И. Козлов. - М.: Высш. школа, 1981. - 351 с.
2. Буловский, П.И. Технология и оборудование производства электроизмерительных приборов: учебник / П.И. Буловский, А.И. Лукичев. - М.: Высшая школа, 1983. - 280 с.
3. Бурцев, В.М. Технология машиностроения: в 2 т. / В.М. Бурцев [и др.]; под ред. А.М.Дальского.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1999. - Т. 1: Основы технологии машиностроения: учебник для вузов. - 564 с.
4. Бурцев, В.М. Технология машиностроения: в 2 т. / В.М. Бурцев [и др.]; под ред. Г.Н.Мельникова. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1999. - Т. 2: Производство машин: учебник для вузов. - 640 с.
5. Гаврилов, А.Н. Технология авиационного приборостроения: учебник / А.Н. Гаврилов - М.: Машиностроение, 1981. - 480 с.
6. Гаврилов, А.Н. Технология изготовления деталей авиационных приборов / А.Н. Гаврилов. - М.: Машиностроение, 1985. - 232 с.
7. Ефремов, А.А. Сборка оптических приборов: учебник / А.А. Ефремов [и др.] - М.: Высш. школа, 1983. - 319 с.
8. Зубаков, В.Г. Технология оптических деталей: учебник / В.Г. Зубаков, М.Н. Семibrатов, С.К. Штандель; под ред. М.Н. Семibrатова. - М.: Машиностроение, 1985. - 368 с.
9. Идельсон, М.И. Технология оптико-механического приборостроения: учебник / М.И. Идельсон, И.А. Бойцова, М.В. Иванова. - Л.: Машиностроение, 1981. - 278 с.
10. Каледин, Б.Ф. Изготовление типовых деталей оптико-электронных приборов: текст лекций / Б.Ф. Каледин. - М.: Изд. МИИГАиК, 1986. - 67 с.
11. Каледин, Б.Ф. Производство оптико-электронных приборов: учебник / Б.Ф. Каледин, М.Д. Мальцев, А.И. Скороходов. - М.: Машиностроение, 1981. - 303 с.
12. Козерук, А.С. Технология оптических деталей: учебно-метод. пособие: в 4-х ч. / А.С. Козерук, В.О. Кузнечик. - Мн.: БГПА, 1996. - Ч. 1: Классические методы формообразования прецизионных поверхностей. - 137 с.
13. Колесов, И.М. Основы технологии машиностроения: учеб. для машиностроит. спец. вузов. / И.М. Колесов- 2-е изд., испр. - М.: Высш. шк., 1999. - 591 с.
14. Маталин, А.А. Технология машиностроения: учебник для вузов / А.А. Маталин. - Л.: Машиностроение, 1985. - 496 с.
15. Махаринский, Е.И., Основы технологии машиностроения: учебник / Е.И. Махаринский, В.А. Горохов. - Мн.: Выш. шк., 1997. - 423 с.
16. Покровский, В.Н. Делительные машины / В.Н. Покровский. - М.: Машиностроение, 1984. - 208 с.
17. Руденко, П.А. Отделочные операции в машиностроении: справочник / П.А. Руденко [и др.]; под общ. ред. П.А. Руденко. - К.: Техника, 1985. - 136 с.
18. Федотов, А.И. Технология автоматизированного нанесения штрихов и знаков / А.И. Федотов. - Л.: Машиностроение, 1977. - 304 с.