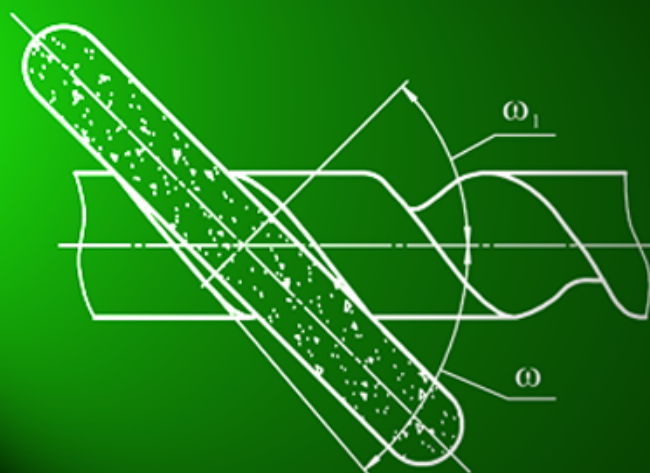


В.И. МАЛЫШЕВ

# ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА



Министерство образования и науки Российской Федерации  
Тольяттинский государственный университет

В.И. Малышев

**ТЕХНОЛОГИЯ  
ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
РЕЖУЩЕГО  
ИНСТРУМЕНТА**

Учебное пособие

Тольятти  
Издательство ТГУ  
2012

УДК 621.9.02(075.8)

ББК 34.63я73

М207

Рецензенты:

д.т.н., профессор Ульяновского государственного технического  
университета *Е.С. Киселев*;

д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технология  
машиностроения» Самарского государственного технического  
университета *Н.В. Носов*.

**М207** Малышев, В.И. Технология изготовления режущего инструмента : учеб. пособие / В.И. Малышев. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2012. – 368 с. : обл.

Изложены основные положения проектирования типовой технологии изготовления режущего инструмента. Рассмотрены вопросы проектирования технологических операций, характерных для современного инструментального производства. Показаны основные особенности заготовительных, формообразующих, термических, шлифовальных и заточных операций, а также методы дополнительного повышения стойкости режущего инструмента.

Предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 151900 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств». Может быть полезно аспирантам, а также специалистам машиностроительных предприятий.

УДК 621.9.02(075.8)

ББК 34.63я73

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

ISBN 978-5-8259-0723-9

© ФГБОУ ВПО «Тольяттинский  
государственный университет», 2012

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Основные обозначения и аббревиатуры .....	5
Введение .....	11
Глава 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ .....	15
1.1. Структура и основные характеристики технологических процессов изготовления инструмента .....	15
1.2. Типы производства .....	18
1.3. Типизация технологических процессов изготовления инструмента .....	19
1.4. Базирование и установка заготовок на станке .....	23
1.5. Обеспечение точности изготовления инструмента .....	35
1.6. Порядок проектирования технологического процесса изготовления инструмента .....	41
1.7. Проектирование технологической операции.....	51
1.8. Техничко-экономические показатели технологического процесса .....	63
Глава 2. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ СВОЙСТВА .....	66
2.1. Основные требования, предъявляемые к инструментальным материалам .....	66
2.2. Быстрорежущие стали .....	68
2.3. Твердые сплавы .....	78
2.4. Сверхтвердые инструментальные материалы .....	85
Глава 3. ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ .....	89
3.1. Основные методы получения заготовок .....	89
3.2. Изготовление заготовок из проката .....	90
3.3. Пайка заготовок .....	99
3.4. Получение заготовок методом литья .....	103
3.5. Ковка, штамповка и прокатка заготовок из быстрорежущей стали .....	104
3.6. Получение заготовок из твердого сплава .....	106
Глава 4. ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗАГОТОВОК РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ .....	111
4.1. Лезвийная обработка поверхностей заготовок инструмента .....	111
4.2. Резьбо- и зубообразующие операции .....	130
4.3. Обработка рифлений на деталях сборного инструмента .....	133
4.4. Фрезерование стружечных канавок .....	135
4.5. Операции затылования инструмента .....	144
4.6. Электрофизические и электрохимические методы формообразования поверхностей .....	149

Глава 5. ОПЕРАЦИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ .....	155
5.1. Диаграмма состояния железо—углерод .....	155
5.2. Операция отжига заготовок .....	157
5.3. Операции основной термической обработки .....	158
5.4. Правка заготовок после термической обработки .....	167
5.5. Типовые операции термической обработки .....	168
Глава 6. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ КАЧЕСТВА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАЦИЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ .....	171
6.1. Пути повышения качества шлифованных поверхностей и производительности абразивной обработки .....	171
6.2. Выбор шлифовальных кругов .....	184
6.3. Правка шлифовальных кругов и правящие инструменты .....	204
Глава 7. ОПЕРАЦИИ ШЛИФОВАНИЯ И ЗАТОЧКИ .....	215
7.1. Операции шлифования .....	215
7.2. Операции заточки и доводки .....	238
7.3. Вышлифовывание стружечных канавок и спинок инструментов осевого класса .....	268
Глава 8. МОДИФИКАЦИЯ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИНСТРУМЕНТА .....	279
8.1. Классификация основных методов повышения стойкости инструмента .....	280
8.2. Изменение свойств поверхностного слоя инструмента .....	284
8.3. Нанесение износостойких покрытий на поверхности инструмента .....	288
8.4. Эффективность применения инструментов с модифицированными рабочими поверхностями .....	294
Глава 9. ТИПОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА .....	301
9.1. Пример разработки технологического процесса изготовления фрезы специальной .....	301
9.2. Типовой технологический процесс изготовления сверла с цилиндрическим хвостовиком .....	321
9.3. Типовой технологический процесс изготовления долбяка прямозубого .....	331
9.4. Типовой технологический процесс изготовления фрезы червячной насадной .....	336
9.5. Типовые технологические маршруты изготовления инструментов .....	350
Библиографический список .....	365

## Основные обозначения и аббревиатуры

$A^*$  – функция, учитывающая конкретные условия теплового процесса абразивной обработки

$A_1, A_3$  – критические точки диаграммы состояния железо – углерод

$A_1, A_2, A_3 \dots B_1, B_2, B_3 \dots$  – звенья размерной цепи

$Ar_1, Ar_3$  – критические точки диаграммы состояния железо – углерод при нагреве

$Ac_1, Ac_3$  – критические точки диаграммы состояния железо – углерод при охлаждении

$a_z$  – толщина единичного среза, приходящегося на абразивное зерно, мкм

$C_p$  – постоянный коэффициент в эмпирической формуле

$d_{max\ заг}, d_{min\ заг}$  – диаметры заготовки, мм

$D_r$  – главное движение резания, м/мин или м/с

$D_s$  – движение подачи, м/мин

$Ds_z$  – движение подачи на зуб, мм/зуб

$Ds_{кр}$  – движение круговой подачи, м/мин

$Ds_{пп}$  – движение поперечной подачи, мм/ход

$Ds_{пр}$  – движение подачи при правке круга, м/мин

$D$  – наружный диаметр заготовки, мм

$D_i$  – наружный диаметр инструмента, мм

$D_k$  – наружный диаметр шлифовального круга, мм

$D_{м-}$  – текущий диаметр инструмента в точке М, мм

$D_{св-}$  – наружный диаметр сверла, мм

$D_{ф-}$  – наружный диаметр фрезы, мм

$E$  – горизонтальное смещение инструмента относительно оси заготовки, мм

$F$  – площадь контакта, мм<sup>2</sup>

$f$  – ширина ленточки, мм

$f_p$  – погрешность передней поверхности зуба червячной фрезы, мкм

$PX$  – рабочий ход инструмента

БП – быстрое перемещение инструмента

БО – быстрый отвод инструмента

$\Delta h$  – дополнительный слой металла, снимаемого при заточке, мм

$h$  – глубина стружечной канавки, мм

$H$  – вертикальное смещение инструмента, мм

$H_s$  – высота набора мерных плиток в синусном приспособлении, мм

$h_3$  – износ инструмента по задней поверхности, мм

$h_{\text{п}}$  – износ инструмента по передней поверхности  
 $h_{\text{с}}$  – глубина поверхностного слоя, мкм  
 $h_{\text{ц}}$  – величина подъема заднего центра, мм  
 $h_{\text{ш}}$  – фактическая глубина поверхностного слоя на косом микрошлифе, мкм  
 $i$  – передаточное отношение сменных колес  
 $I$  – ток, А  
 $i_s$  – цепь подачи  
 $i_v$  – цепь главного движения  
 $i_z$  – цепь затылования  
 $K_{\text{бм}}$  – величина падения затылка на боковой стороне зуба в точке М, мм  
 $k_{\text{п}}$  – число переточек инструмента, шт.  
 $K_t$  – поправочные коэффициенты в эмпирической формуле  
 $K_{\text{зо}}$  – коэффициент закрепления операций  
 $K_{\text{им}}$  – коэффициент использования металла  
 $K_{\text{п}}$  – величина падения затылка, мм  
 $K_{\text{б}}$  – величина падения затылка на боковой стороне зуба, мм  
 $L$  – длина пути, пройденного инструментом, мм  
 $l$  – длина обработанной поверхности заготовки, мм  
 $l_1$  – длина врезания инструмента, мм  
 $l_2$  – длина перебега инструмента, мм  
 $L_{\text{п}}$  – общая длина протяжки, мм  
 $M_{\text{н}}$  – точка начала мартенситного превращения, град  
 $M_{\text{к}}$  – точка конца мартенситного превращения, град  
 $m_s$  – расстояние между калиброванными роликами синусных приспособлений, мм  
 $m_{\text{ш}}$  – расстояние между соседними уколами алмазной пирамидкой на микрошлифе, мм  
 $N$  – характеристика делительной головки  
 $N_{\text{г}}$  – число рабочих дней в году  
 $n$  – частота вращения, об/мин  
 $n_{\text{дет}}$  – количество деталей, шт.  
 $n_3$  – число дней, на которое должен быть обеспечен запас инструмента на складе  
 $n_{\text{пр}}$  – число шлифуемых заготовок между правками круга, шт.  
 $n_{\text{рх}}$  – число рабочих ходов, шт.  
 $P_i$  – суммарное значение пространственных отклонений обрабатываемых поверхностей относительно базовых поверхностей заготовки

$R_{i-1}$  – суммарное значение пространственных отклонений обрабатываемых поверхностей

$P_z$  – главная составляющая силы резания, Н

$Q$  – число рабочих мест

$Q_d$  – масса детали, кг

$Q_{\text{заг}}$  – масса заготовки, кг

$Q_{\text{оп}}$  – число выполняемых операций

$Q_T$  – общее количество тепла, выделившееся в электрическом проводнике, Дж

$r$  – радиус впадины стружечной канавки, мм

$R$  – электрическое сопротивление цепи, Ом

$R_{\text{заг}}$  – радиус обрабатываемой заготовки, мм

$R_k$  – сопротивление в контакте заготовок, Ом

$R_m$  – электрическое сопротивление нагреваемых участков металла, Ом

$R_o$  – сопротивление между электродом и заготовкой, Ом

$S_B$  – врезная подача при шлифовании, мм/мин

$S_{\text{заг}}$  – подача затылования, мм/зуб

$S_{\text{пр}}$  – продольная подача, мм/мин

$t$  – глубина резания, мм/ход

$Td_i; TD_i$  – допуски, получаемые на выполняемой операции, мкм

$Td_{i-1}; TD_{i-1}$  – допуски, получаемые на предшествующей операции, мкм

$T_{i-1}$  – глубина поверхностного слоя, поврежденного на предшествующей операции, мм

$T_k$  – контактная температура при шлифовании, град

$T_p$  – стойкость режущего инструмента, мин

$T_c$  – шаг винтовой спирали, мм

$t_o$  – основное время обработки, мин

$t_{\text{обс}}$  – время технологического обслуживания, мин

$t_{\text{оп}}$  – оперативное время, мин

$t_B$  – вспомогательное время обработки, мин

$t_{\text{зуб}}$  – шаг между зубьями протяжки, мм

$t_{\text{инд}}$  – время индексации поворотных столов, делительных головок и др., мин

$t_{\text{лич}}$  – время на отдых и личные надобности, мин

$t_n$  – нормальный шаг между наклонными зубьями протяжки, мм

$t_{oi}$  – основное время обработки одной заготовки, мин

$t_{ol}$  – время лимитирующего перехода, мин

$t_{om}$  – трудоемкость механической обработки, мин



$t_{пз}$  – подготовительно-заключительное время, мин  
 $t_{пр}$  – время правки шлифовального круга, мин  
 $t_c$  – время смены инструмента, мин  
 $t_{уп}$  – время управления станком, мин  
 $t_{ус}$  – время установки заготовки, мин  
 $t_{ш}$  – шаг ходового винта, мм  
 $t_{шк}$  – штучно-калькуляционное время, мин  
 $t_{шт}$  – штучное время обработки, мин  
 $V_1$  – окружная скорость заготовки, м/мин  
 $V_в$  – окружная скорость ведущего шлифовального круга, м/с  
 $V_к$  – окружная скорость шлифовального круга, м/с  
 $V_р$  – окружная скорость алмазного правящего ролика, м/с  
 $x_p, y_p, z_p$  – показатели степени в эмпирической формуле  
 $X, Y, Z, U, V, W, P, Q, R$  – управляемые осевые движения на станке с системой ЧПУ  
 $Z$  – число зубьев многолезвийного инструмента, шт.  
 $A, B, C, D, E$  – управляемые круговые движения на станке с системой ЧПУ  
 $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$  – число зубьев сменных колес, шт.  
 $Z_i$  – операционный припуск заготовки, мм  
 $Z_{imax}$  – максимальный операционный припуск, мм  
 $Z_{imin}$  – минимальный операционный припуск, мм  
 $Z_3$  – толщина слоя металла, сошлифованного за одну заточку  
 $Z_o$  – общий припуск заготовки, мм  
 $\alpha$  – Fe – твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе (мартенсит)  
 $\alpha$  – главный задний угол, град  
 $\alpha_s$  – угол поворота синусных приспособлений, град  
 $\alpha_б$  – нормальный задний угол у боковой стороны зуба фрезы, град  
 $\alpha_в$  – нормальный задний угол у вершины зуба фрезы, град  
 $\alpha_к$  – кинематический задний угол резца, град  
 $\alpha_c$  – статический задний угол резца, град  
 $\alpha_{ш}$  – угол косога среза на микрошлифе, град  
 $\beta$  – угол конуса при основании заготовки фрезы с коническим профилем, град  
 $\gamma$  – передний угол, град  
 $\gamma$  – Fe – твердый раствор углерода в  $\gamma$ -железе (аустенит)  
 $\gamma_к$  – кинематический передний угол затылованного резца  
 $\gamma_c$  – статический передний угол резца при затыловании, град  
 $\Delta_n$  – случайная погрешность настройки

$\Delta_{\text{общ}}$  – общая погрешность обработки  
 $\Delta_{\text{п}}$  – погрешности, обусловленные неточностью и размерным износом инструмента  
 $\Delta_{\text{сист}}$  – общая систематическая погрешность  
 $\Delta_{\text{со}}$  – погрешности теоретической схемы обработки  
 $\Delta_{\text{ст}}$  – погрешность, возникающая вследствие неточности изготовления, износа и деформации станков  
 $\Delta_{\text{т}}$  – погрешности, связанные с тепловыми деформациями технологической системы  
 $\Delta_{\text{у}}$  – погрешность установки  
 $\Delta$  – средневероятностный размер абразивного зерна, м  
 $\varepsilon$  – центральный угол, град  
 $\theta$  – угол профиля стружечной канавки (угол при вершине фрезы или круга), град  
 $\omega_{\text{б}}$  – погрешность базирования  
 $\omega_{\text{з}}$  – погрешность закрепления заготовки в приспособление  
 $\omega_{\text{пр}}$  – погрешность приспособления  
 $\theta_1$  – угол наклона режущей кромки угловой фрезы, обращенной к передней поверхности фрезеруемой заготовки, град  
 $\theta_{\text{к}}$  – угол профиля шлифовального круга корригированный, град  
 $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·град)  
 $\rho_i$  – радиус кривизны обрабатываемой стружечной канавки, мм  
 $\tau$  – время, с  
 $\varphi$  – угол наклона оси делительной головки относительно стола, град  
 $\varphi_{\text{к}}$  – угол между плоскостью, касательной к режущей кромке зуба в данной точке, и плоскостью, перпендикулярной оси вращения заготовки, град  
 $\psi$  – угол поворота суппорта при затыловании, град  
 $\Omega$  – доля тепла, поступающая в шлифовальный круг  
 $\omega$  – угол наклона винтовой линии стружечной канавки, град  
 $\omega_1$  – угол установки фрезы – инструмента относительно оси заготовки, град  
*CVD* – Chemical Vapour Deposition (химическое осаждение покрытия)  
*FEPA 42L*, *FEPA 43L* – стандарты обозначения шлифовальных кругов Европейской организацией изготовления абразивов  
*GSE* – линия диаграммы состояния железо – углерод, на которой располагается точка  $A_3$   
*PSK* – линия диаграммы состояния железо – углерод, соответствующая температуре эвтектического равновесия

*PVD* – Physical Vapour Deposition (физическое осаждение покрытия)  
КЗ/П – карта на разработку управляющей программы  
КК – карбид кремния  
ККИ – карта кодирования информации  
КН/И – карта наладки инструмента  
КНБ – кубический нитрид бора  
КТП – карта технологического процесса  
МК – маршрутная карта  
ОК – операционная карта  
ПС – поверхностный слой  
 $P_i$  – производственная партия выпуска инструмента, шт.  
 $P_r$  – годовая программа выпуска инструмента, шт.  
 $P_p$  – показатель процесса резания в эмпирической формуле  
Р – число рабочих мест  
РП – рабочая поверхность  
РПК – рабочая поверхность круга  
СОТС – смазочно-охлаждающее технологическое средство  
СТМ – сверхтвердый материал  
СТО – средства технологического оснащения  
СТП – стандарт предприятия  
ТВЧ – токи высокой частоты  
ТО – технологическая операция  
ТП – технологический процесс  
ТПП – технологическая подготовка производства  
ХТО – химико-термическая обработка  
ЧПУ – числовое программное управление  
ЭИЛ – электроискровое легирование  
ЭК – электрокорунд  
ЭП – электрохимическое полирование  
ЭХО – электрохимическая обработка  
ЭЭО – электроэрозионная обработка

## ВВЕДЕНИЕ

Эффективность машиностроительного производства в значительной степени зависит от уровня качества применяемых режущих инструментов. Ресурс работы инструментов, число их переточек существенным образом влияют на себестоимость и качество машиностроительной продукции.

Производство инструментов отличается разнообразием типоразмеров и осуществляется следующим образом:

- стандартные инструменты в основном изготавливаются на специализированных инструментальных заводах. Так, абразивные и алмазные инструменты практически полностью изготавливаются на специализированных предприятиях;
- нестандартные инструменты и инструменты по внутренним стандартам машиностроительных предприятий производятся в инструментальных цехах этих предприятий.

В последнее двадцатилетие в отечественном машиностроительном производстве, в том числе станкоинструментальной отрасли, произошли глубокие структурные изменения. Прекратили свое существование или были перепрофилированы многие старейшие предприятия, такие как Московский завод режущего инструмента «Фрезер». Другие, например ОАО «Сестрорецкий инструментальный завод», группа компаний «Томский инструментальный завод» и пр., подверглись серьезной модернизации. Возникли новые, как правило, относительно небольшие организации по производству различных видов инструмента или их комплектующих.

Ряд машиностроительных предприятий выделили из своей структуры инструментальные цехи, преобразовав их в самостоятельные и оперативно отвечающие на требования заказчиков, производства. Даже гигант отечественного автомобилестроения ОАО «АВТОВАЗ» в 2011 году преобразовал свое инструментальное производство в самостоятельное ООО «Лада-инструмент». Следует отметить, что инструментальное производство ОАО «АВТОВАЗ» представляет собой крупнейшее отечественное специализированное предприятие, имеющее около 1500 единиц станочного оборудования, производящее около 1200000 единиц режущего, мерительного и слесарно-монтажного инструмента в год. Инструмент, кроме ОАО «АВТОВАЗ», поставляется ОАО «КАМАЗ», ОАО «УАЗ», Саратовскому заводу зуборезных станков и др., а также машиностроительным компаниям Белоруссии,

Венгрии, Германии, Чехии. Такой сложный инструмент, как протяжки экспортируется в США [1].

В настоящее время развитие инструментального производства происходит по нескольким направлениям, среди которых имеют место нижеперечисленные:

- широкое внедрение в технологический процесс многофункционального станочного оборудования, оснащенного числовым программным управлением, имеющим четыре, пять и более управляемых осей;
- применение современных инструментальных материалов, в том числе быстрорежущих сталей, полученных методом порошковой металлургии, ультрадисперсных твердых сплавов, сверхтвердых материалов, обладающих уникальными физико-механическими свойствами;
- использование методов глубинного высокоскоростного шлифования взамен лезвийной обработки заготовок из быстрорежущей стали;
- применение физико-технических и физико-химических технологий обработки сложнопрофильных поверхностей;
- развитие технологий нанесения износостойких покрытий или легирования поверхностных слоев рабочих поверхностей инструментов.

Изготовление режущих инструментов производится в соответствии с общими принципами и положениями технологии машиностроения и имеет много общего с производством деталей машин. Однако для инструментального производства характерны особенности, обусловленные целым рядом факторов.

Во-первых, по сравнению с деталями машин инструменты, как правило, имеют более сложную форму, представляющую собой комбинацию координатно-связанных плоских, цилиндрических, конических и криволинейных поверхностей, причем рабочие поверхности инструментов образуют относительно острые режущие кромки. В связи с этим технологии изготовления инструментов обычно содержат большее число операций и требуют применения специальных средств технологического оснащения.

Во-вторых, инструменты зачастую состоят из разнородных материалов, связанных между собой разъемным или неразъемным соединением. Это приводит к необходимости вносить коррективы в режим резания при последовательной или одновременной обработке материалов с различными физико-механическими и технологическими свойствами.

В-третьих, точность изготовления формообразующих элементов инструментов, работающих методом копирования, как правило, должна быть выше точности размеров обрабатываемых ими поверхностей деталей машин. Это обуславливает повышенные требования к точности соответствующих станков и технологической оснастки инструментального производства.

В-четвертых, качество изготовленных инструментов определяется не только точностью размеров, форм, отклонением расположения и шероховатостью поверхностей, но и состоянием физико-механических свойств поверхностного слоя рабочих поверхностей. Это может быть обеспечено только в условиях высокой технологической культуры производства.

Цель настоящего учебного пособия заключается в получении студентами знаний основ современного производства инструмента, умений использования их для решения задач проектирования технологических процессов изготовления режущих инструментов.

Пособие состоит из 9 глав, содержание которых логически последовательно представляет информацию о проектировании технологии изготовления режущего лезвийного инструмента, начиная с получения заготовок и до операций окончательной обработки.

В первой главе приведены основные положения технологической подготовки производства и характеристики технологических процессов изготовления инструментов.

Во второй главе изложена информация об основных современных инструментальных материалах, их физико-механических и технологических свойствах. Представлены сведения о соответствии маркировок материалов отечественных и зарубежных производителей.

В третьей главе дано описание основных технологических операций получения заготовок для производства режущих инструментов в условиях инструментального производства машиностроительного предприятия.

В четвертой главе рассмотрены основные технологические формообразующие операции лезвийной обработки, в том числе фрезерования стружечных канавок и затылования, характерные для инструментального производства.

Пятая глава посвящена операциям термической обработки.

В шестой главе систематизированы основные правила выбора и правки шлифовальных кругов для конкретных операций шлифования и заточки.

В седьмой главе представлено описание технологических операций абразивной обработки: заготовок различных режущих инструментов, в том числе вышлифовывания стружечных канавок, профильного шлифования и заточки на современном станочном оборудовании. Рассмотрены наиболее подробно операции, характерные для производства инструментов.

В восьмой главе дано описание современных технологий и методов повышения износостойкости рабочих поверхностей режущих инструментов. Представлен широкий спектр методов, основанных на различном энергетическом воздействии на инструментальный материал.

В девятой главе приведен пример разработки технологического маршрута инструмента и приведены образцы типовых технологий изготовления режущего инструмента.

Изучение материала, приведенного в настоящем пособии, опирается на предшествующие дисциплины образовательной программы, такие как «Технологические процессы машиностроительного производства», «Метрология, сертификация и стандартизация», «Материаловедение», «Проектирование режущих инструментов», «Металлорежущие станки» «Основы технологии машиностроения» и др.

В пособии показаны особенности проектирования типовых технологических процессов и изготовления режущих инструментов на основе передового опыта предприятий, производящих режущий инструмент, прежде всего инструментального производства ОАО «АВТОВАЗ». Представлен материал, полученный на основе результатов исследований, выполненных с участием автора в Тольяттинском государственном университете, в том числе по государственным контрактам Федеральной целевой программы на 2009–2013 гг. (научные и научно-педагогические кадры инновационной России), направление 1.2.2.

# Глава 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

---

---

## 1.1. Структура и основные характеристики технологических процессов изготовления инструмента

Выпуску любой машиностроительной продукции, в том числе инструмента, предшествует *технологическая подготовка производства* (ТПП), которая регламентируется нормами ГОСТ Р 50995.3.1-96 «Технологическое обеспечение создания продукции. Технологическая подготовка производства». Основная цель ТПП – обеспечение высокоэффективного производства изделий требуемого качества и количества в установленные сроки.

На уровне предприятия основными функциями ТПП являются:

- обеспечение технологичности изделия;
- выбор и проектирование заготовок;
- разработка технологического процесса изготовления изделия;
- выбор и разработка средств технологического оснащения;
- контроль и управление технологическим процессом.

Изготовление изделий (в частном случае – инструмента) требует четкой, логически обоснованной организации всего производственного процесса.

*Производственный процесс* – это совокупность всех действий людей и орудий производства, необходимых на предприятии для изготовления или ремонта выпускаемых изделий.

*Технологический процесс* (ТП) – часть производственного процесса по целенаправленному изменению или определению состояния предмета труда (заготовок и изделий).

Для осуществления ТП необходимо совокупное применение средств технологического оснащения (СТО) – технологического оборудования (станков) и технологической оснастки (инструментов, приспособлений, средств контроля и т. д.). При выполнении ТП заготовка последовательно проходит обработку от станка к станку в соответствии с логикой построения выполняемых операций. Указанная последовательность называется *технологическим маршрутом*. Технологический маршрут представляет собой последовательную цепочку технологических и вспомогательных операций.



*Технологическая операция* (ТО) согласно ГОСТ 3.1109-82 – это законченная часть ТП, выполняемая непрерывно на одном рабочем месте. ТО является основной структурной единицей ТП, на основе которой определяется трудоемкость изготовления детали, планируется необходимое количество средств технологического оснащения, численность рабочих, осуществляется контроль качества и пр.

*Установ* – часть ТО, выполняемая при неизменном закреплении заготовки. При обработке на станках ТО содержит все действия исполнителя начиная с установки заготовки и вплоть до момента снятия детали со станка при условии непрерывности процесса её выполнения.

Заготовку сверла можно обработать по наружной поверхности за одну операцию следующим образом. Заготовку устанавливают на станке, протачивают поверхность хвостовой части, затем устанавливают эту же заготовку другой стороной, перенастраивают станок и протачивают поверхность рабочей части будущего сверла. Таким образом последовательно обрабатывают всю партию заготовок, каждый раз перенастраивая станок. Операцию выполняют за два установа.

Обработку этих же заготовок можно разделить на две операции путем прерывания процесса. Каждая операция выполняется за один установ. Сначала обрабатывают хвостовую часть у всей партии заготовок, затем – рабочую часть. В этом случае обеспечивается возможность сокращения времени на переналадку станка и настройку токарного резца.

Технологическая операция состоит из технологических и вспомогательных переходов.

*Технологический переход* – законченная часть ТО, выполняемая одними и теми же СТО на постоянных технологических режимах.

*Вспомогательный переход* – законченная часть ТО, связанная с закреплением заготовки, сменой инструмента, контролем размера и т. д.

*Рабочий ход* – законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки и сопровождающаяся изменением ее размеров, формы, состояния.

*Позиция* – фиксированное положение, занимаемое закрепленной заготовкой совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижных частей станка.

Структура ТО может быть основана на принципе концентрации и дифференциации технологических переходов. В первом случае предусматривается максимально возможное совмещение технологических переходов в одной операции. Во втором случае уменьшают число технологических переходов в составе увеличенного количества ТО.

В состав ТП могут, кроме ТО, входить вспомогательные операции, не изменяющие размеров, формы и внешнего вида изделия, но предназначенные для осуществления технологических операций (контрольные, маркировочные, упаковочные, удаление стружки и пр.).

По степени унификации технологические процессы подразделяют на единичные и унифицированные.

*Единичный* ТП предусматривает изготовление изделия одного наименования и типоразмера, независимо от типа производства. В условиях инструментального производства единичный ТП проектируется, как правило, только для изготовления оригинальных, относительно сложных инструментов, не имеющих общих признаков с ранее выпускавшимися на предприятии.

*Унифицированный* ТП подразделяется на *групповой* и *типовой*.

*Групповой* ТП предназначен для изготовления небольшими партиями группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками. Например, участок по изготовлению насадных инструментов позволяет сгруппировать обработку заготовок различных инструментов (червячных фрез, цилиндрических фрез, насадных разверток и др.) различных типоразмеров и конструкций на общем оборудовании. Это дает возможность избежать больших потерь времени на переналадку станков при переходе от изготовления одного инструмента к другому.

Для инструментального производства характерным является *типовой* ТП. Будучи информационной основой для разработки технологического процесса изготовления конкретного изделия, он содержит описание комплекса технологических операций, объединенных единством содержания и последовательности технологических переходов для изделий с общими конструктивными признаками.

Каждый вид ТП (единичный, групповой, типовой), в зависимости от назначения, подразделяется на рабочий и перспективный. По степени детализации содержания ТП подразделяют на маршрутные, операционные и маршрутно-операционные.

*Маршрутный* ТП – технологический процесс, выполняемый по документации, в которой содержание операций приводится без указания переходов и режимов обработки. Основными технологическими документами для описания маршрутного ТП служат маршрутная карта (МК) и ведомость деталей (сборочных единиц).

*Операционный* ТП – технологический процесс, в котором представлено содержание операций с указанием переходов и режимов

резания. Основными технологическими документами являются маршрутная карта, операционные карты (ОК), карты типового технологического процесса (КТТП) и карты эскизов (КЭ).

*Маршрутно-операционный* ТП – технологический процесс, выполняемый по документации, в которой содержание отдельных операций представлено без указания переходов и режимов резания.

В операционном и маршрутно-операционном описании ТП могут быть представлены карты наладки инструмента (КН/И), а также карты кодирования информации (ККИ), карты заказа на разработку управляющей программы (КЗ/П) при использовании станков с числовым программным управлением.

## 1.2. Типы производства

В машиностроении в зависимости от номенклатуры и объема выпуска изделий различают три типа производства: единичное, серийное и массовое, которые согласно ГОСТ 3.1108-74 характеризуются коэффициентом закрепления операций

$$K = \frac{Q}{P}, \quad (1.1)$$

где  $Q$  – число выполняемых операций;  $P$  – число рабочих мест, на которых выполняются данные операции.

*Единичное производство* ( $K \geq 40$ ) характеризуется широкой номенклатурой изделий и малым объемом их выпуска. Оно охватывает разнообразные типы изделий, поэтому является относительно гибким. В единичном производстве используется универсальное оборудование, стандартный режущий и мерительный инструмент, на одном станке выполняется несколько разнообразных операций.

*Серийное производство* ( $1 < K < 40$ ) обусловлено ограниченной номенклатурой деталей, изготавливаемых периодически повторяющимися партиями. Используются станки, оснащенные специальными инструментами и приспособлениями, а также специализированные станки и оборудование с программными системами управления. Коэффициент закрепления операций для мелкосерийного производства –  $20 \leq K < 40$ , среднесерийного –  $10 \leq K < 20$ , крупносерийного –  $1 < K < 10$ .

*Массовое производство* отличается ограниченной номенклатурой и большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых в течение длительного времени. В массовом производстве наиболее высокий уровень механизации и автоматизации технологических

процессов, которые дифференцированы на отдельные элементарные операции. Используются специальные приспособления, режущий и мерительный инструменты. Коэффициент  $K$  равен единице.

Производство режущего инструмента в условиях машиностроительных предприятий, даже таких гигантов индустрии, как ОАО «АВТОВАЗ», относится к мелкосерийному, среднесерийному и резе крупносерийному типам. Как правило, инструментальное производство выпускает продукцию равномерно отдельными партиями, исходя из его годовой потребности в основном производстве предприятия.

Согласно ГОСТ 14.312-74 в зависимости от направления движения заготовок в процессе обработки, т. е. установленного порядка выполнения операций, различают две формы организации производства: групповую и поточную.

*Групповая форма* типична для изготовления деталей партиями на каждой операции и применяется в единичном и мелкосерийном производстве. Станочное оборудование располагается по группам и практически не зависит от направления техпроцесса.

*Поточная форма* применяется в крупносерийном и массовом производстве и предусматривает закрепление операций за оборудованием, которое располагается по направлению движения заготовки.

Определение типа производства дает возможность уточнить форму организации техпроцесса, определить схему и содержание ТО и соответственно этому выбрать тип станочного оборудования (универсальное, станки с ЧПУ, полуавтоматы и автоматы с копировальным устройством и т. д.), конструкцию режущего инструмента (универсальный, специальный, сборный и т. п.), вид оснастки (механизованная, автоматизированная и т. п.).

### **1.3. Типизация технологических процессов изготовления инструмента**

Номенклатура производимого инструмента составляет большое число различных типов и размеров, объединенных общими конструктивными и технологическими признаками. Типизация технологического процесса дает возможность ввести единообразие в изготовление инструмента одного класса, сократить необходимую технологическую документацию, уменьшить номенклатуру станочного оборудования, оснастки, инструмента второго порядка, использовать прогрессивные технические решения.

Основу типизации техпроцесса составляет классификация инструментов, согласно которой все режущие инструменты по технологическим и конструктивным признакам принято разделять на четыре класса.

1. *Осевой* (концевой) инструмент. К этому классу относятся инструменты, имеющие форму тела вращения с относительно большой длиной по сравнению с диаметром: сверла, зенкеры, концевые фрезы, метчики, круглые протяжки и др. Эти инструменты могут быть цельными из быстрорежущей стали или твердого сплава, составными (сварными), а также с напаянными твердосплавными режущими (пластинами) или сборными с механическим креплением таких пластин.

2. *Насадной* (втулочный) инструмент. К этому классу относятся инструменты, имеющие форму тела вращения с цилиндрическим или коническим посадочным отверстием: насадные зенкеры, развертки, фрезы, метчики и др.

3. *Дисковый* инструмент. К этому классу относятся инструменты, длина которых меньше половины наружного диаметра, имеющие цилиндрические или конические посадочные отверстия: дисковые, пазовые, угловые фрезы, дисковые долбяки, круглые резцы и др. Как и насадной инструмент, их изготавливают цельными, сборными или составными.

4. *Плоский* (призматический) инструмент. К этому классу относятся инструменты, имеющие любую конфигурацию, кроме формы тела вращения: стержневые и призматические резцы, ножи для сборного инструмента, зуборезные и резьбонарезные гребенки, плоские протяжки и др. Инструменты этого класса также могут быть цельными, сборными или составными.

Основными признаками для типизации технологического процесса изготовления инструмента являются конфигурация и размеры инструмента, точность изготовления, качество поверхностного слоя, шероховатость обработанной поверхности, материал и форма заготовки и др. Разработка ТП представляет собой многоуровневую системную задачу и предусматривает логическую последовательность при принятии технологических решений по иерархическому принципу «от общего к частному» (рис. 1.1).

На **первом уровне** решается общая задача проектирования. Она заключается в определении необходимых циклов изготовления инструмента:

- получение заготовки (на рис. 1.1 отмечено цифрой 1);
- формообразование исполнительных, базовых и свободных поверхностей (2);

- основная термическая обработка (3);
- окончательная обработка исполнительных и базовых поверхностей (4);
- модификация исполнительных поверхностей (5);
- контроль, консервация и упаковка (6).

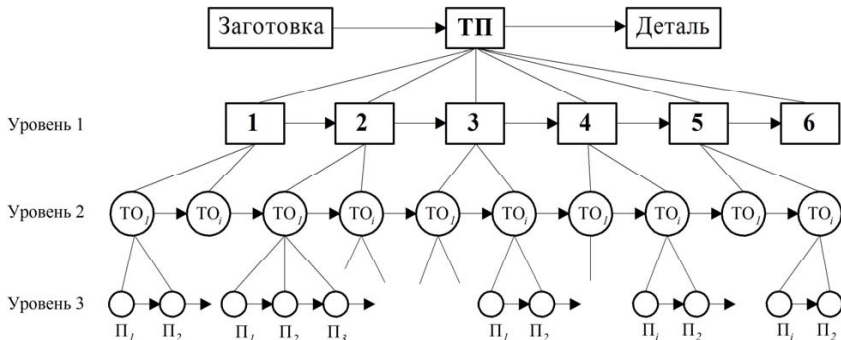


Рис. 1.1. Уровни представления ТП

*Цикл заготовительных операций* может содержать правку прутков, отрезку заготовок, ковку и объемную штамповку заготовок, подготовку под сварку, стыковую сварку, отжиг послековки и сварки, очистку, снятие сварочного графа, подрезку торцов и центрование. В число заготовительных операций могут входить прессование и спекание заготовок (твердосплавный инструмент), пайка твердосплавных пластин к корпусу, гидродинамическое выдавливание, редуцирование, ротационное обжатиение и др. Номенклатура заготовительных операций зависит от вида изготавливаемого инструмента, материала заготовки и ее размера.

Заготовительные операции по трудоемкости составляют от 15 до 25% общей трудоемкости изготовления инструмента.

*Цикл формообразующих операций* составляет по трудоемкости 25–50% общей трудоемкости изготовления инструмента и включает токарную обработку наружных и внутренних поверхностей, фрезерование стружечных канавок, лапок, квадратов, протягивание рифлений, шпоночных пазов и др. На этом этапе удаляется основной объем припуска на обработку.

*Цикл основных термических операций* включает операции закалки и отпуска, формирующие заданные твердость, прочность и другие физико-механические свойства инструментального материала.

Цикл *операций окончательной обработки исполнительных и базовых поверхностей* содержит операции абразивной обработки: зачистка технологических баз, шлифование торцов, отверстий, цилиндрических и конических хвостовиков, заточка и доводка передних и задних поверхностей по основным и вспомогательным режущим кромкам, полирование стружечных канавок и др. Операции заточки являются отличительной особенностью технологического процесса изготовления инструмента по сравнению с изготовлением деталей общемашиностроительного производства. По трудоемкости этот этап составляет 30–40% общей трудоемкости изготовления инструмента и содержит операции окончательной обработки, определяющие качество поверхностного слоя инструмента, точность размеров, формы и расположения рабочих поверхностей.

При изготовлении инструментов из цельных твердосплавных заготовок не предусматривается формообразующая операция лезвийной обработки и цикл термообработки, а снятие припуска производится полностью на операциях абразивной обработки с применением алмазного шлифовального инструмента.

Цикл *модификации рабочей поверхности инструмента* предусматривает выполнение операций, направленных на дополнительное повышение стойкости инструмента. Это могут быть операции по удалению дефектного слоя с рабочей поверхности РИ, по нанесению на него износостойкого покрытия или изменению свойств поверхностного слоя за счет имплантации в него легирующих компонентов.

В цикле *операций контроля, комплектации, упаковки* готовый инструмент проходит окончательный технический контроль, обеспечивается необходимой сопроводительной документацией и принадлежностями. При необходимости, если это не сделано на предыдущих операциях, на инструмент наносится служебная маркировка. Производится консервация и упаковка инструмента.

Для сборных инструментов может быть и еще один заключительный цикл — *сборка режущих элементов в корпусе*. Например, для сборных червячных фрез сборка зубчатых реек в корпусе производится перед окончательной операцией заточки.

На **втором уровне** проектирования отдельные ТО (рис. 1.1) каждого цикла связывают в технологический маршрут. Составляют технологическую последовательность обработки каждой поверхности заготовки инструмента, выбирают технологические базы, производят предварительный выбор станочного оборудования и СТО, планируют

ют содержание технологических операций. Как правило, на втором уровне рассматривают несколько возможных вариантов ТП для выбора наиболее эффективного.

Исходной информацией для проектирования ТП являются варианты типовых технологий изготовления инструмента, размеры и технические требования, приведенные в рабочем чертеже, программа выпуска и др.

Наконец, на **третьем уровне** проектирования выполняют детальную проработку каждой операции — разрабатывают операционную технологию (рис. 1.1). Детализацию техпроцесса доводят до проектирования технологических и вспомогательных переходов ( $\Pi_i$ ) на каждой операции. Производят выбор режущего, вспомогательного, измерительного инструментов, расчет режимов обработки для всех переходов операции. Осуществляется техническое нормирование по каждому переходу. Здесь определяют, как правило, несколько возможных вариантов выполнения технологических операций и выбирают единственный, обеспечивающий выполнение поставленной цели (достижение наименьшей себестоимости, наибольшей производительности обработки или высоких параметров качества инструмента).

Наиболее подробно детализацию ТП производят при использовании станков с программным управлением. Здесь детализацию операции доводят до определения отдельных элементов траектории движения режущего инструмента и соответствующих команд управления станком.

В целом, независимо от конструкции инструмента, в типовом техпроцессе можно проследить общую последовательность операции изготовления РИ.

#### **1.4. Базирование и установка заготовок на станке**

*Базирование*, то есть определение положения заготовки относительно выбранной системы координат, является одним из важнейших условий для реализации процесса обработки, контроля и эксплуатации детали.

Базовой называется поверхность, линия или точка детали, по отношению к которой ориентируются другие детали изделия или другие поверхности при их конструировании, сборке, механической обработке, измерении.

По служебному назначению базы подразделяются на конструкторские, технологические и измерительные.



*Конструкторская база* — это база, по отношению к которой на чертеже определяются расчетные положения других деталей или сборочных единиц изделия, а также других поверхностей данной детали.

Конструкторская база может быть

- *основной*, когда она принадлежит данной детали или сборочной единице и используется для определения ее положения в изделии;
- *вспомогательной*, когда она используется для определения положения изделия, присоединяемого к данной детали или сборочной единице.

*Измерительная база* — база, от которой производят расчет выполняемых размеров при обработке или измерении размера заготовок, а также при проверке взаимного расположения поверхностей детали или элементов изделия (параллельность, соосность, перпендикулярность).

*Технологическая база* — это база, используемая для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта (переточки).

**Базирование заготовки.** Заготовка в процессе обработки должна занимать и сохранять определенное положение относительно системы координат, связанной с элементами, деталями, узлами станка или приспособления. Для этого необходимо лишить заготовку шести степеней свободы, исключив возможность трех ее прямолинейных движений в направлении координатных осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  и трех вращательных движений вокруг этих или параллельных им осей. Это обеспечивается путем контакта поверхностей заготовки или готовой детали с поверхностями других деталей, например установочными элементами приспособления, на которые ее устанавливают и фиксируют. Условно заготовка контактирует с другими деталями точками контакта (*опорными точками*). Их расположение на трех координатных поверхностях зависит от формы и размеров заготовки.

На заготовках инструмента плоской формы (резцы и др.) три опорные точки  $1, 2, 3$  размещают на поверхности, имеющей наибольшие размеры. Эта поверхность является *установочной базой*. Две другие опорные точки  $4, 5$  располагаются на поверхности, отличающейся наибольшим протяжением, и образуют *направляющую базу*. Последняя, шестая точка располагается на поверхности с меньшими размерами, формируя *опорную базу* (рис. 1.2,а).

На поверхностях заготовок осевых инструментов (рис. 1.2,б), имеющих форму тела вращения, располагаются четыре опорные точки  $1, 2, 3, 4$ . Базу, лишаящую заготовку четырех степеней свободы, называют *двойной направляющей*. На торцовой поверхности и на хомутике,

закрепленном на цилиндрической поверхности или шпоночном пазе, располагается еще по одной опорной точке (опорной базе) 5 и 6.

На заготовке, представляющей собой тело вращения, длина которого меньше диаметра (насадной и дисковый инструмент), три опорные точки, выполняющие функции установочной базы, располагают на торцевой поверхности. Две опорные точки на цилиндрической поверхности создают *двойную опорную базу*. Еще одна точка, выполняющая функцию опорной базы (рис. 1.2, в), размещается на поверхности шпоночного пазы.

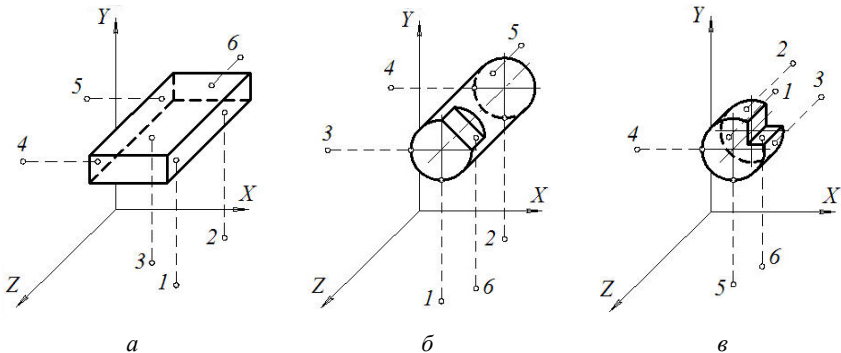


Рис. 1.2. Теоретические схемы базирования

Теоретическая схема базирования показывает схему расположения опорных точек на базах заготовки в соответствии с принятой системой координат. Согласно ГОСТ 21495-79, на схемах и чертежах опорные точки изображают значками  $\nabla$  (вид сбоку) и  $\diamond$  (вид сверху).

При выборе технологических баз желательно обеспечить *принцип единства баз* – возможно более полное совмещение технологических баз с конструкторскими и измерительными базами. В этом случае погрешность базирования равняется нулю, а точность изготовления детали (или ее отдельной поверхности) возрастает. При несовпадении баз возникает погрешность, равная допуску на размер между измерительной и технологической базами.

При проектировании ТП необходимо также стремиться обеспечить *принцип постоянства баз*, так как при каждой смене баз точность взаимного расположения обрабатываемых поверхностей снижается на величину погрешности взаимного расположения новой и старой баз. Обеспечение этого принципа в целом ряде случаев вызывает необходимость создания на заготовке специальных технологических

баз (центровых отверстий, установочных поясков и т. п.), которые используются только при изготовлении изделия и не нужны ему для выполнения основных функций.

При необходимости смены баз целесообразно переходить от менее точной базы к более точной. Например, на первой операции, используя черновую (созданную на заготовительных операциях) базу, обработать поверхность, которая будет служить технологической базой на последующих операциях. Попутно заметим, что черновую базу следует использовать только однократно.

На заключительных операциях, например при окончательном шлифовании и заточке, соблюдение принципа единства баз более актуально, чем на ранних стадиях ТП. Так, при окончательной заточке осевого инструмента обычно переходят от базирования в центровых отверстиях к базированию по конической или цилиндрической поверхности хвостовика, являющейся конструкторской базой и определяющей положение изготовленного инструмента на станке при эксплуатации. Такая смена баз обеспечивает в итоге снижение погрешности обработки этим инструментом.

Наиболее употребительными технологическими базами для инструмента осевого класса являются специально создаваемые центровые отверстия. Собственно базовой поверхностью в них служат конические поверхности с углом  $60^\circ$ , на которые опираются центры, установленные на станке. Согласно ГОСТ 14034-74 установлено девять форм центровых отверстий, из которых для металлорежущих инструментов применяют пять:

- 1) *форма А* с углом конуса  $60^\circ$  (рис. 1.3,а) используется в качестве базовой поверхности при изготовлении инструментов простой формы, но не используется при последующих его заточках;
- 2) *форма В* с углом предохранительного конуса  $120^\circ$  (рис. 1.3,б) применяется в случаях, когда центровые отверстия являются базой при изготовлении и многократных заточках инструмента (протяжки, развертки и т. п.);
- 3) *форма Г* с углом  $60^\circ$  с выточкой (рис. 1.3,в) применяется в оправках и калибрах-пробках;
- 4) *форма Р* с дугообразной образующей (рис. 1.3,г) обеспечивает наиболее точное базирование и используется при изготовлении и заточке высокоточного инструмента;
- 5) *форма Н* с резьбовым отверстием (рис. 1.3,д) применяется в хвостовиках инструментов осевого класса.

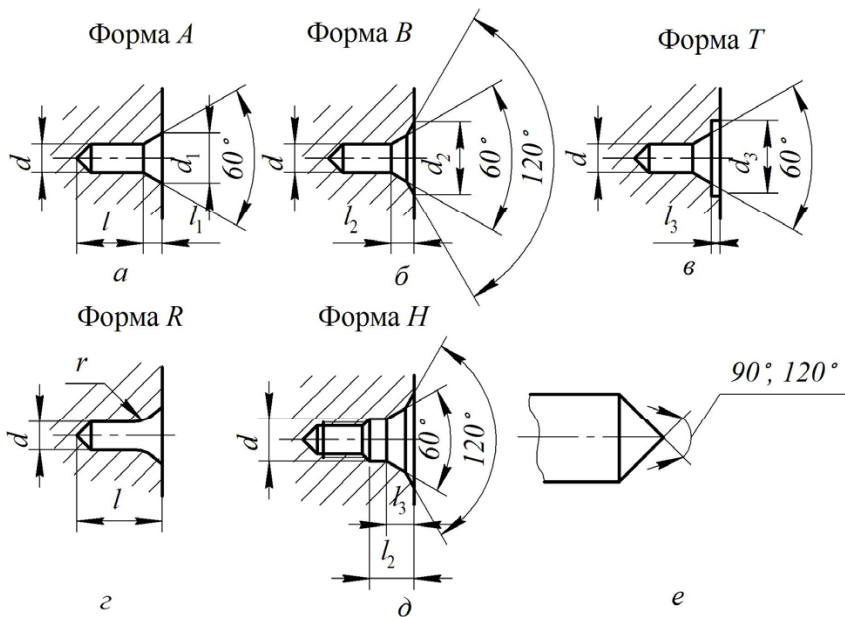


Рис. 1.3. Формы центровых отверстий

Для осевых инструментов небольшого (до 10 мм) диаметра вместо центровых отверстий выполняют *обратные центры* (рис. 1.3,е).

Диаметр  $d$  центровых отверстий выбирают в зависимости от наружного диаметра заготовки.

При изготовлении осевого инструмента большого диаметра, на рабочем торце которого имеются режущие кромки (например, сверл), центровочное отверстие выполняют на так называемом *временном* (технологическом) центре (рис. 1.4), который потом срезают на точной операции. В табл. 1.1 приведены рекомендуемые размеры временного центра для рабочей части сверл.

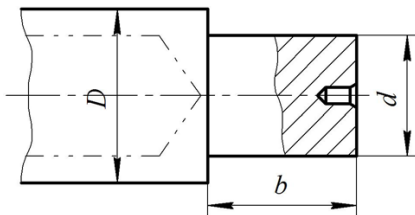


Рис. 1.4. Конструкция временного центра

Размеры временного центра

Диаметр заготовки $D$ , мм	Диаметр временного центра $d$ , мм	Длина временного центра $b$ , мм
16...25	9	8
25...40	11	9,5
40...55	14	12
55...70	17	15,5
70...100	20	17

В целом ряде случаев вместо временного центра на заготовках сверл целесообразно делать обратный наружный центр с углом  $120^\circ$  со стороны рабочей части. Применение такого центра позволяет сэкономить инструментальный материал, расходуемый на создание временного центра, и убрать операцию отрезки временного центра из технологического процесса.

**Установка заготовки.** Процесс установки заготовок в приспособлении на станках состоит из их базирования и закрепления.

При установке заготовки в приспособлении или станке не всегда требуется ориентирование по трем базам и лишение ее свободы по шести точкам.

Так, согласно рис. 1.5,а для обеспечения размера  $y$  достаточно иметь одну установочную базу – поверхность  $A$  (опорные точки 1, 2, 3). Размер  $y$  будет выдержан независимо от расположения заготовки относительно осей  $X$  и  $z$ . Реализация этой схемы возможна, например, при установке заготовки на магнитной плите плоскошлифовального станка. Следует отметить, что для обработки заготовка должна быть лишена подвижности по всем шести точкам базирования. В этом случае заготовка лишается еще трех степеней свободы за счет скрытых баз, образуемых силами магнитного притяжения магнитной плиты.

При фрезеровании сквозного паза (рис. 1.5,б) нет необходимости ориентировать плоскую заготовку в направлении оси  $z$ . Достаточно иметь установочную базу по плоскости  $A$  (опорные точки 1, 2, 3) и направляющую по плоскости  $B$  (опорные точки 4 и 5), обеспечивающие возможность получения размеров  $x$  и  $y$ . Шестая опорная точка, расположенная на скрытой базе (точка 6), возникает в результате усилия зажима заготовки в приспособлении.

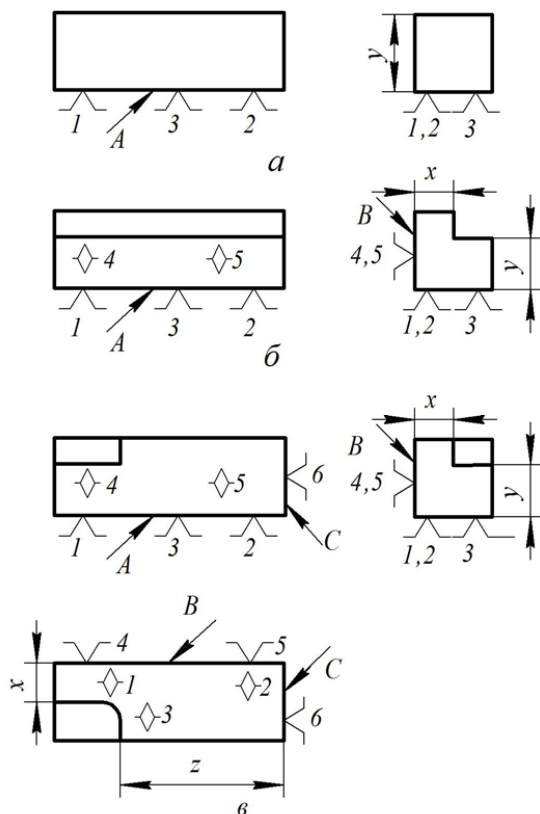


Рис. 1.5. Использование одной (а), двух (б) и трех (в) баз при обработке заготовки

Установка по шести опорным точкам и трем технологическим базам необходима, когда требуется получить заданные размеры по всем трем координатным осям. Например, при обработке уступа (рис. 1.5, в) для получения размеров  $x$ ,  $y$ ,  $z$  следует установить заготовку по трем технологическим базам (поверхности  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ). Это вызывает необходимость использования наиболее сложного приспособления по сравнению с предыдущими вариантами.

*Закреплением* называется приложение сил к заготовке для обеспечения постоянства ее положения, достигнутого при базировании.

В отличие от установки, для которой не всегда требуется шесть опорных точек [10], при закреплении заготовка лишается всех шести степеней свободы. Это реализуется зажимом заготовки в приспособ-

лении с помощью силового замыкания (механического, пневматического, гидравлического, магнитного и др.).

Согласно ГОСТ 3.1107-81 для обозначения на схемах, чертежах и в технологической документации введены условные обозначения опор, зажимов и установочных устройств, материализующих теоретическую схему базирования детали и ее установку на станке (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Условные обозначения опор, зажимов и установочных устройств

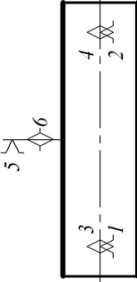
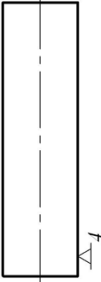
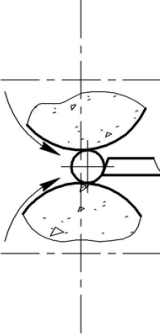
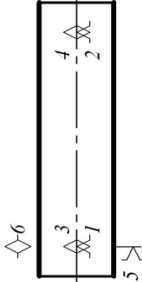

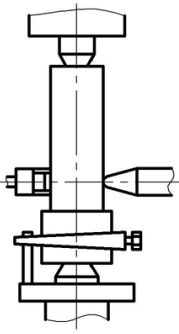
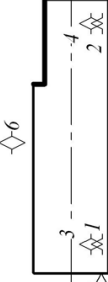
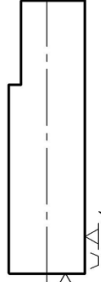
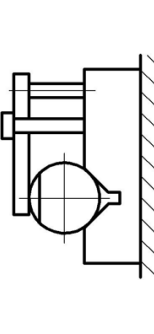
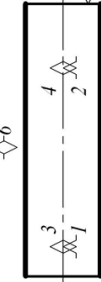
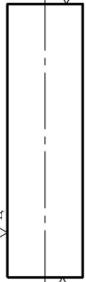
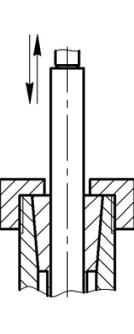
Наименование	Обозначение опоры на видах		
	спереди, сзади	сверху	снизу
Опора неподвижная			
Опора подвижная			
Плавающая опора			
Регулируемая опора			
Опора неподвижная с призматической рабочей поверхностью			
Зажим одиночный			
Зажим двойной			
Центр неподвижный			
Центр вращающийся			
Центр плавающий			
Центр рифленый			
Центр обратный вращающийся			
Патроны двух-, трех-, четырехкулачковые			
Патроны и оправки цанговые			
Патрон поводковый			
Люнет неподвижный			
Люнет подвижный			
Оправка цилиндрическая гладкая			
Оправка цилиндрическая шариковая			
Оправка цилиндрическая резьбовая			
Оправка коническая гладкая			

Таблица 1.3

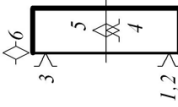
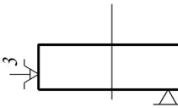
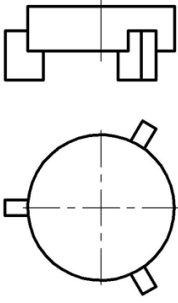
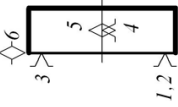
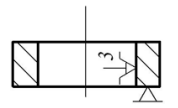
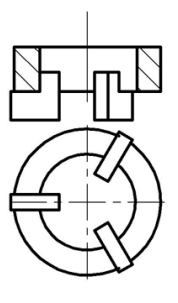
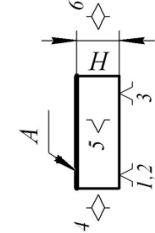
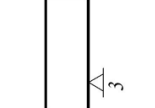
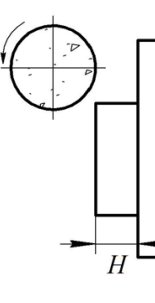
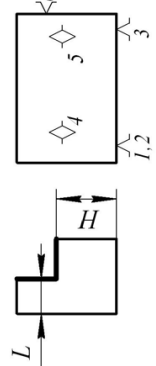
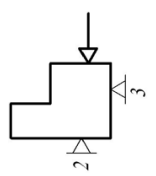
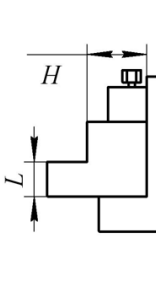
Схема базирования и установки заготовок

Характеристика установки (класс инструмента)	Теоретическая схема базирования	Условное изображение установки на технологическом эскизе	Эскиз обработки с технологической оснасткой
1. Установка вала в неподвижном переднем центре с поводковым патроном и вращающимся задним центром (осевой)			
2. Установка вала в неподвижном переднем обратном центре с поводковым патроном и задним вращающимся обратным центром (осевой)			
3. Установка вала в трехкулачковом патроне с базированием по торцу и вращающимся задним центром (осевой)			
4. Установка вала в трехкулачковом самоцентрирующемся патроне (в цанге) без упора в торец (осевой)			



Характеристика установки (класс инструмента)	Теоретическая схема базирования	Условное изображение установки на технологическом эскизе	Эскиз обработки с технологической оснасткой
5. Бесцентровое шлифование гладкого вала (осевой)			
6. Установка вала в неподвижном переднем центре с поворотным патроном и с вращающимся центром с неподвижным люнетом (осевой)			
7. Установка вала на призме (осевой)			
8. Установка вала в цапговом патроне с упором в торец (осевой)			

Характеристика установки (класс инструмента)	Теоретическая схема базирования	Условное изображение установки на технологическом эскизе	Эскиз обработки с технологической оснасткой
9. Установка цилиндрической втулки на конической оправке (с обеспечением строгой центричности поверхностей вращения (насадной))			
10. Установка втулки в центрах с рифленным и вращающимся центром			
11. Установка втулки на гладкой цилиндрической оправке с гайкой, допускающей эксцентриситет поверхностей вращения (насадной, дисковый)			
12. Протягивание отверстия (насадной, дисковый)			

Характеристика установки (класс инструмента)	Теоретическая схема базирования	Условное изображение установки на технологическом эскизе	Эскиз обработки с технологической оснасткой
13. Установка диска в трехулачковом патроне с упором по торцу (дисковый, насадной)			
14. Установка короткой втулки (диска) в трехулачковом патроне в разжим с упором по торцу (дисковый, насадной)			
15. Шлифование плоскости $A$ , выдерживая размер $H$ (плоский)			
16. Фрезерование (шлифование) уступа, выдерживая размеры $H$ и $L$ (плоский)			

Обозначение нескольких одноименных опор на каждом виде сбоку допускается заменить одним с указанием их числа справа, например  $\surd^2$ ,  $\surd^3$ . Виды опор сверху изображаются отдельно друг от друга в соответствии с их размещением.

Реализация схемы базирования заготовок инструментов обеспечивается с помощью станочных приспособлений, которые выбирают из прилагаемой к металлорежущему станку стандартной оснастки или изготавливают специально для выполнения конкретных операций. В табл. 1.3 приведены примеры обозначений теоретических схем базирования и схем установки заготовок на станке в приспособлениях для всех четырех классов режущего инструмента.

## 1.5. Обеспечение точности изготовления инструмента

В технологии машиностроения под точностью обработки понимается степень соответствия показателей изготовленных изделий требованиям чертежа и другим нормативным документам. Точность представляет собой комплексное понятие и характеризуется двумя основными группами показателей:

- 1) точность размеров, формы и относительного расположения поверхностей изделия;
- 2) точность микрогеометрических (шероховатость) и макрогеометрических (волнистость) показателей изделия.

Точность готовых изделий находится в определенной зависимости от точности выбранных заготовок. Чем точнее параметры исходной заготовки, тем проще получить высокую точность изготовленных изделий. Однако с уменьшением допуска на размер опережающим темпом растут затраты на получение заготовок. Поэтому от точности заготовок зависит не только выбор станочного оборудования, технологической оснастки, режимов обработки, но и экономическая эффективность технологического процесса изготовления изделия. В целом применение заготовок относительно высокой точности и получение точных размеров на всех операциях их обработки является неременным требованием для применения автоматического станочного оборудования.

Основным методом, обеспечивающим требуемую точность изготавливаемого инструмента, является обработка резанием. На протяжении технологического процесса обеспечивается последовательное повышение точности обрабатываемой заготовки сначала на операциях лезвийной обработки (точение, фрезерование, сверление и пр.), затем

на операциях шлифования, заточки и доводки. При этом каждый вид обработки может разделяться на черновую, получистовую, чистовую.

В практике машиностроительного производства, в зависимости от требований к точности изготовления изделия и затрат на ее достижение, различают два понятия:

- 1) достижимая точность, характеризующая наибольшую точность, получаемую конкретным методом обработки;
- 2) экономическая точность, характеризующая точность, получаемую конкретным методом обработки с учетом технических требований и экономических затрат на ее достижение.

Эти понятия следует отнести не только к точности получаемых размеров, но и к шероховатости обработанных поверхностей.

В табл. 1.4 приведены значения экономической точности получаемых размеров и шероховатости поверхности, достигаемых наиболее распространенными в инструментальном производстве методами. Таблица составлена на основе справочных данных [13; 21; 23] и опыта инструментального производства ОАО «АВТОВАЗ».

Таблица 1.4

Экономически достижимые шероховатость и точность размеров

Метод обработки	Условное обозначение	Достижимый результат	
		Шероховатость $Ra$	Квалитет
<b>1. Отрезка:</b>			
дисковой пилой	ОД	40...20	16...15
резцом	ОР	80...20	16...14
шлифовальным кругом	ОШ	6,3...3,2	14...13
ленточной пилой	ОП	20...6,3	14...12
<b>2. Обтачивание:</b>			
обдирочное	$T_{об}$	80...20	17...15
черновое	$T_{чр}$	50...12,5	14...12
получистовое или однократное	$T_{пч}$	12,5...2,5	11...10
чистовое	$T_{чс}$	6,3...1,25	9...8
тонкое (инструмент из СТМ)	$T_t$	12,5...0,20	7...6
<b>3. Растачивание:</b>			
черновое	$TR_{чр}$	25...6,3	13...11
получистовое	$TR_{пч}$	6,3...1,6	10...9

Метод обработки	Условное обозначение	Достижимый результат	
		Шероховатость $Ra$	Квалитет
чистовое	$TR_{\text{чс}}$	3,2...1,25	8...7
<i>4. Фрезерование:</i>			
черновое	$\Phi_{\text{чр}}$	12,5...6,3	14...12
чистовое	$\Phi_{\text{чс}}$	6,3...3,2(1,6)	11...10
тонкое	$\Phi_{\text{т}}$	3,2...1,25	9...8
<i>5. Сверление и рассверливание</i>			
	СВ	25...6,3	13...10
<i>6. Зенкерование:</i>			
черновое	$Z_{\text{чр}}$	12,5...6,3	12...10
чистовое	$Z_{\text{чт}}$	6,3...1,25	11...9
<i>7. Развертывание:</i>			
нормальное	$P_{\text{н}}$	6,3...2,5	9...8
тонкое	$P_{\text{т}}$	3,2...0,80	7...6
<i>8. Протягивание отверстий:</i>			
черновое	$P_{\text{чр}}$	12,5...3,2	11...10
чистовое	$P_{\text{чт}}$	6,3...1,25	9...7
<i>9. Шлифование круглое:</i>			
предварительное	$ШK_{\text{п}}$	6,3...2,5	11...9
чистовое	$ШK_{\text{чт}}$	1,6...0,8	8...6
тонкое	$ШK_{\text{т}}$	0,8...0,2	6...5
<i>10. Шлифование плоское (заточка):</i>			
предварительное	$ШП_{\text{п}}$	6,3...2,5	10...8
чистовое	$ШП_{\text{чт}}$	1,6...0,8	8...6
тонкое	$ШП_{\text{т}}$	0,8...0,2	6...5
<i>11. Шлифование внутреннее:</i>			
предварительное	$ШВ_{\text{п}}$	6,3...2,5	10...8
чистовое	$ШВ_{\text{чс}}$	2,5...0,8	8...6
тонкое	$ШВ_{\text{т}}$	0,8...0,4	6...5
<i>12. Доводка:</i>			
грубая	$ДK_{\text{г}}$	0,4	7...6
средняя	$ДK_{\text{ср}}$	0,2...0,1	6...5
тонкая	$ДK_{\text{т}}$	0,11...0,05	5
<i>13. Хонингование отверстий</i>			
	ХН	0,8...0,1	6...4
<i>14. Суперфиниширование</i>			
	СФ	0,63...0,1	5...4

Метод обработки	Условное обозначение	Достижимый результат	
		Шероховатость $Ra$	Квалитет
15. <i>Полирование абразивное</i>	ПЛ	0,1...0,012	—
16. <i>Электроэрозионная проволочная:</i>			
черновая	ЭПР <sub>ч</sub>	2,0...1,6	
получистовая	ЭПР <sub>п</sub>	1,25...0,8	
чистовая	ЭПР <sub>чт</sub>	0,8...0,40 (0,20)	
17. <i>Электроэрозионная прошивная:</i>			
черновая	ЭПШ <sub>ч</sub>	6,3...5,0	
получистовая	ЭПШ <sub>п</sub>	3,2...1,25	
чистовая	ЭПШ <sub>чт</sub>	0,8...0,4 (0,20)	

В скобках указана достижимая шероховатость обработки.

Любой метод обработки сопровождается отклонением параметров точности, вызванным комплексом систематических и случайных причин, приводящих к погрешности получаемых размеров. Погрешности, вызванные этими причинами, называют соответственно систематическими и случайными.

**Систематические погрешности** являются постоянными или закономерно изменяющимися при переходе от каждой обрабатываемой заготовки к следующей в рассматриваемой партии и зависят от ряда факторов.

*Погрешности, возникающие вследствие неточности изготовления, износа и деформации станков  $\Delta_{ст}$ .* Каждый станок обладает определенными характеристиками точности. Погрешности геометрической точности станка отражаются на точности обрабатываемых изделий. Износ станка увеличивает величину систематических погрешностей обрабатываемых заготовок.

*Погрешности, обусловленные неточностью и размерным износом режущего инструмента  $\Delta_{ин}$ .* Неточность изготовления режущего инструмента, равно как и его износ в процессе эксплуатации негативным образом влияют на появление систематических погрешностей обрабатываемых заготовок.

*Погрешности, связанные с тепловыми деформациями технологической системы  $\Delta_t$ .* В процессе непрерывной работы станка за счет трения в его подвижных элементах, гидроприводах, электродвигателях, подшипниках, а также нагрева от сходящей стружки, смазочно-охлаждающей жидкости происходят деформация и смещение оси шпинделя

станка, суппортов. Это также приводит к постепенному появлению погрешности обрабатываемых заготовок.

*Погрешность теоретической схемы обработки  $\Delta_{co}$ .* При изготовлении инструментов, имеющих сложный профиль рабочих поверхностей, сама схема обработки предполагает наличие определенных допущений и приближенных решений кинематических задач, вызывающих возникновение систематических погрешностей формы обработанных поверхностей. Чаще всего такие погрешности имеют место на чистовых операциях обработки зуборезных инструментов. Например, при заточке червячных фрез с винтовой стружечной канавкой необходимо получить переднюю поверхность зуба плоской формы. Однако особенность конструкции таких фрез заключается в том, что передние поверхности зубьев, образованные винтовыми канавками, представляют собой, при значении переднего угла  $\gamma > 0^\circ$ , винтовую, а не плоскую поверхность. Возникающую погрешность снижают, например, путем корректирования профиля шлифовального круга.

Общая систематическая погрешность обработки представляется в виде алгебраической суммы ее составляющих

$$\Delta_{\text{сист}} = \Delta_{\text{ст}} + \Delta_{\text{ин}} + \Delta_{\text{т}} + \Delta_{\text{co}}. \quad (1.2)$$

**Случайные погрешности.** При обработке партии заготовок под действием причин случайного характера, проявляющих свое действие одновременно и независимо друг от друга, возникают так называемые случайные погрешности, приводящие к рассеянию получаемых размеров. Величина рассеивания подчиняется различным математическим законам, например, закону нормального распределения и др. [10].

*Погрешности  $\Delta_o$ , вызванные рассеянием размеров,* связанным с видом обработки, зависят от конструкции и состояния станка, его точности и жесткости.

*Погрешности  $\Delta_y$ , вызываемые установкой заготовки.* При установке заготовки на станке точность получения размера зависит от положения ее измерительной базы относительно режущего инструмента. Погрешности, вызываемые установкой заготовки, складываются из трех составляющих – случайных погрешностей:

- 1) погрешности базирования  $\omega_o$  заготовки, связанной с несовпадением измерительной и технологической баз или с особенностями формы опорных поверхностей заготовок и установочных элементов заготовок;



- 2) погрешности закрепления  $\omega_3$  заготовки в приспособлении, зависящей от конструкции и состояния зажимного устройства;
- 3) погрешности приспособления  $\omega_{пр}$ , обусловленной погрешностью изготовления и сборки самого приспособления, его износом и точностью установки на станке.

Согласно правилу суммирования случайных величин, формула общей погрешности установки имеет вид

$$\Delta_y = 1,2\sqrt{\omega_8^2 + \omega_3^2 + \omega_{пр}^2}. \quad (1.3)$$

Для обработки на автоматизированных станках важное значение имеет учет случайных погрешностей, связанных с погрешностью настройки положения режущего инструмента относительно расчетного положения и узлов сжатия относительно инструмента. Формула расчета случайной погрешности настройки имеет вид

$$\Delta_n = 1,2\sqrt{\omega_{рег}^2 + \omega_{изм}^2}, \quad (1.4)$$

где  $\omega_{рег}$  — погрешность регулирования положения инструмента относительно установочных элементов приспособления,  $\omega_{изм}$  — погрешность используемого измерительного средства.

Общая погрешность обработки складывается из суммы случайных  $\Delta_o$ ,  $\Delta_y$ ,  $\Delta_n$  и систематических погрешностей  $\Delta_{сист}$ :

$$\Delta_{общ} = 1,2\sqrt{\Delta_o^2 + \Delta_y^2 + \Delta_n^2} + \Delta_{сист}. \quad (1.5)$$

Конкретные значения входящих в формулу величин определяют по справочным данным, например [10; 21; 22; 28] или по результатам статистического анализа.

Расчет погрешности обработки позволяет выявить основные проблемы обеспечения точности изготовления инструмента. Так, если общая погрешность обработки превышает поле допуска получаемого размера, то в первую очередь целесообразно уменьшить систематические погрешности  $\Delta_{сист}$ , имеющие, как правило, большее значение, чем случайные погрешности, и поддающиеся расчету и корректировке [10].

## **1.6. Порядок проектирования технологического процесса изготовления инструмента**

### **1.6.1. Исходные данные для проектирования технологического процесса**

Базовыми исходными данными для проектирования ТП являются:

- рабочий чертеж детали (инструмента) с техническими требованиями;
- чертеж заготовки с техническими условиями (если заготовка изготавливается вне проектируемого техпроцесса);
- технические условия на изготовление и приемку готовой детали;
- программа выпуска деталей, в том числе с ее разбивкой по конкретным срокам.

В качестве справочных исходных данных используют нормативные материалы, государственные стандарты (ГОСТ), стандарты предприятия (СТП), тарифно-квалификационные справочники и др.

Исходные данные создают основу для проектирования технологического маршрута изготовления инструмента, которое рекомендуется проводить в такой последовательности:

- 1) определение типа производства;
- 2) выбор типа и метода получения заготовки;
- 3) выполнение анализа технологичности детали и технологической корректировки ее рабочего чертежа;
- 4) кодирование поверхностей детали, подвергаемых механической обработке (на основе анализа чертежа детали);
- 5) выбор последовательности методов обработки для каждой поверхности детали, например на основе таблиц достижения экономической точности;
- 6) составление технологического маршрута обработки заготовки;
- 7) разработка операций (группирование обработки поверхностей, сходных по методу обработки за одну операцию).

### **1.6.2. Выбор заготовки и назначение припусков**

С целью повышения экономичности инструментального производства при выборе вида и метода получения заготовки выполняют технико-экономическое обоснование выбранных вариантов. Следует отметить, что, в отличие от общемашиностроительного производства, принцип выбора метода получения заготовки при производстве инструментов имеет свои особенности. Так, операцииковки и штамповки в машиностроении широко применяются для придания заготовке формы, близкой

к форме готового изделия. В инструментальном производстве подобные операции могут применять дополнительно для улучшения структуры металла и снижения балла карбидной неоднородности.

Технико-экономическое обоснование не выполняют, если не существует альтернативных вариантов получения заготовки. Например, операция стыковой сварки может быть безальтернативной при изготовлении осевых инструментов. В этом случае необходим выбор рационального метода сварки и конструкций свариваемых заготовок.

Конструирование заготовки включает определение ее размеров с предельными отклонениями, припусков на механическую обработку и технических условий.

*Припуском* называется слой материала, удаляемый с заготовки в процессе механической обработки с целью получения заданных размеров, точности и других показателей качества обработанной поверхности. Припуск может быть *промежуточным (операционным)*, удаляемым в процессе каждой операции (перехода), и *общим*. Общий припуск  $Z_0$  равен сумме операционных припусков  $Z_i$

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n Z_i \cdot \quad (1.6)$$

На каждой последующей операции (переходе) припуск  $Z_i$  меньше припуска на предыдущей операции (переходе), при этом точность получения размера, как правило, возрастает, а шероховатость обработанной поверхности снижается. Важной задачей при проектировании ТП является определение величины операционных припусков  $Z_i$  для каждой операции (перехода) и промежуточных размеров заготовки.

Операционные припуски определяют опытно-статистическим и расчетно-аналитическим методами.

*Опытно-статистический метод* относительно прост и широко применяется преимущественно в мелкосерийном и серийном производстве при разработке типовых ТП, в том числе в инструментальном производстве. Припуски определяются на основе справочной литературы, например по таблицам [11; 24] после определения методов обработки поверхностей.

*Расчетно-аналитический метод* учитывает конкретные параметры обработки. Рассчитанные этим методом припуски, как правило, получаются меньше табличных значений. Метод применяют в основном при проектировании новых ТП [19].

При расчете припусков аналитическим методом определяют операционные припуски на последовательно выполняемые операции

(переходы) и общий припуск, позволяющий определить исходный размер заготовки.

На основе расчета промежуточных припусков определяют предельные размеры заготовки по всем технологическим операциям (переходам) и ее общий припуск.

### **1.6.3. Технологичность конструкции и технологическая корректировка чертежа инструмента**

На основе изучения рабочего чертежа следует:

- определить, к какому классу относится инструмент;
- определить размеры, химический состав, физико-механические и технологические свойства материалов рабочей части и корпуса инструмента;
- выполнить анализ служебного назначения и технологичности этих деталей;
- выяснить условия эксплуатации инструмента;
- определить поверхности, имеющие решающее значение при выполнении инструментом служебного назначения, а также поверхности, являющиеся конструкторскими базами;
- оценить нагрузки, действующие на инструмент в процессе его эксплуатации.

При разработке ТП возникает необходимость технологической корректировки чертежа детали. Так как между заданием размеров и последовательностью их получения существует определенная связь, простановка размеров влияет на технологичность изготовления детали, в частности, на выбор режущего инструмента и средств измерения и на конструкцию станочных приспособлений. Технологические размеры на чертеже должны быть расставлены так, чтобы они могли быть непосредственно выполнены в процессе обработки заготовки без изменения баз и пересчета допусков и обеспечить совмещение конструкторских, измерительных и технологических баз.

На рабочем чертеже конструктор проставляет размеры, исходя из служебного назначения готового инструмента (рис. 1.6). Однако конструкторские размеры не всегда поддаются непосредственному измерению в процессе изготовления изделия. При проектировании технологии изготовления инструмента зачастую возникает необходимость замены системы простановки конструкторских размеров и допусков на систему технологических размеров и допусков. Для соблюдения принципа единства баз необходимо выбрать некоторые по-

верхности инструмента в качестве измерительных и технологических баз (при обеспечении указанных в чертеже конструкторских размеров и допусков) и рациональный метод простановки размеров.

Применяют цепной, координатный и комбинированный методы простановки размеров.

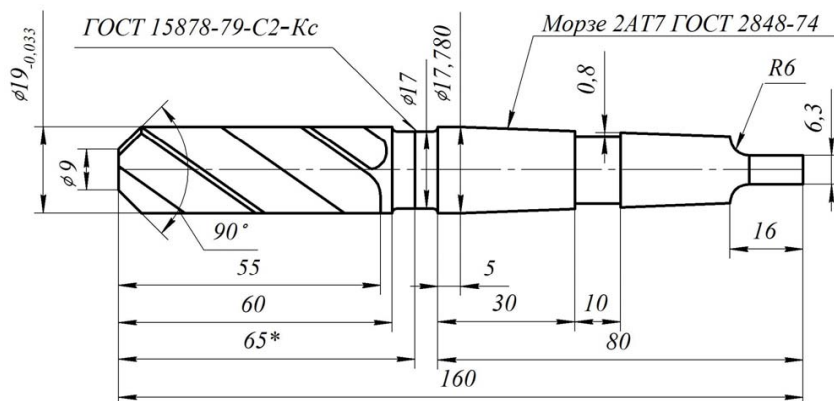


Рис. 1.6. Пример проставления конструкторских размеров на чертеже зенкера

При *цепном методе* (рис. 1.7,а) размеры проставляют последовательно друг за другом. Их погрешность в этом случае зависит от погрешности предыдущих звеньев. При *координатном методе* (рис. 1.7,б) все размеры проставляют от одной базы. Целесообразно использовать их в качестве технологических размеров. Точность любого звена размерной цепи в этом случае не зависит от точности выполнения других звеньев.

*Комбинированный метод* представляет собой сочетание цепного и координатного методов и применяется для уменьшения погрешностей наиболее ответственных размеров.

Реализация цепного метода обозначения размеров может оказаться сложной в процессе изготовления детали. В практической деятельности конструктор учитывает необходимость учета простановки размеров при изготовлении детали. Однако зачастую следует заменить простановку размеров на координатный метод с учетом необходимой коррекции допусков.

На рис. 1.7,а приведен эскиз конструкции корпуса сборной плоской протяжки с цепным проставлением размеров. Такой метод простановки размеров конструктор принял в связи с необходимостью совпадения

положения резьбовых отверстий в корпусе и боковой планке, которая прикрепляется к нему при сборке. Однако из технологических соображений при обработке отверстий целесообразно использовать единую технологическую и измерительную базу – левый торец (рис. 1.7,б), поэтому следует произвести замену конструкторских размеров на технологические и определить допуски ИТ составляющих звеньев.

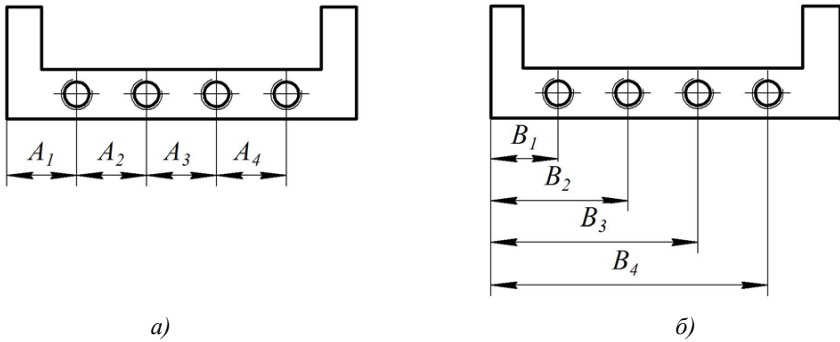


Рис. 1.7. Схема простановки размеров:  
а) цепным методом; б) координатным методом

Из рис. 1.7 следует, что

$$\begin{aligned}
 ITA_1 &= ITB_1; \\
 ITA_2 &= ITB_2 + ITB_1; \\
 ITA_3 &= ITB_3 + ITB_2; \\
 ITA_4 &= ITB_4 + ITB_3.
 \end{aligned}
 \tag{1.7}$$

Допуски первых звеньев  $A_1$  и  $B_1$  размерных цепей должны быть равны, так как эти размеры проставлены от одной базы. Чтобы оценить величину допусков на размеры  $B_2$ ,  $B_3$  и  $B_4$ , примем, к примеру, что  $ITA_1 = ITA_2 = ITA_3 = ITA_4 = 100$  мкм, а  $ITB_2 = ITB_3 = ITB_4$ . Тогда из (1.7) следует, что  $ITB_2 = ITB_3 = ITB_4 = 50$  мкм. Получается, что допуск первого звена ( $B_1$ ) составляет 100 мкм, а допуски остальных звеньев – по 50 мкм. Таким образом, в данном случае для выполнения размеров, заданных конструктором, технологические допуски на три из четырех звеньев размерной цепи должны быть в два раза меньше конструкторских.

Конкретный вариант простановки размеров на технологических эскизах зависит от точности детали, группы и типа оборудования. На

рис. 1.8 приведены некоторые варианты простановки размеров на эскизе червячной фрезы хвостового типа.

Вариант *a*, в котором размеры скоординированы от технологической базы – левого торца (рис. 1.8,*a*), рекомендуется при обработке заготовки на универсальных станках и станках-автоматах, работающих при настроенных упорах или кулачках.

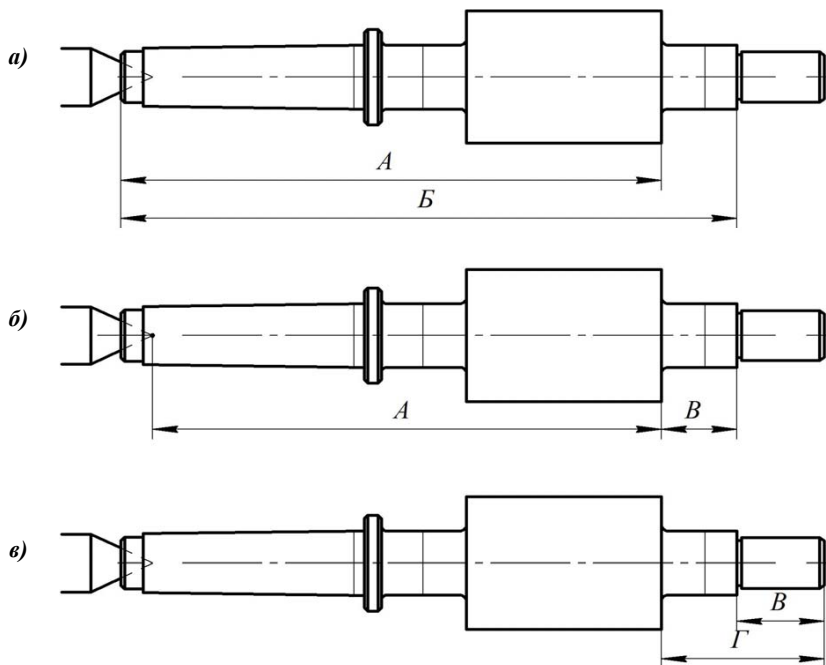


Рис. 1.8. Варианты простановки размеров на операционном эскизе

Вариант *b* (рис. 1.8,*b*) рекомендуется для обработки на токарных и шлифовальных станках с ЧПУ, станках с гидрокопировальным суппортом. В случае применения плавающего центра базой является торец заготовки. При установке упорного центра производят смену баз, и расчет размеров осуществляют от нулевой точки детали на вершине конуса центра.

Вариант *v* (рис. 1.8,*v*) предусматривает перенос нулевой точки детали от левого торца на другую поверхность (в данном случае – на правый торец). Такая схема простановки размеров используется при

обработке заготовки на станках с ЧПУ и станках с устройством цифровой индикации, работающих в абсолютной и относительной системах координат.

#### 1.6.4. Последовательность проектирования технологического маршрута

Основным технологическим документом для мелкосерийного и среднесерийного производств, наиболее характерных для изготовления инструмента, является маршрутное описание технологического процесса, фиксируемое в маршрутной карте.

В целом логика составления маршрутной технологии соответствует общей последовательности типовой технологии, приведенной в 1.6.2.

Для проектирования технологического маршрута выполняют эскиз детали (рис. 1.9) и проводят кодирование информации, обозначив все поверхности порядковыми номерами, а размеры – буквами.

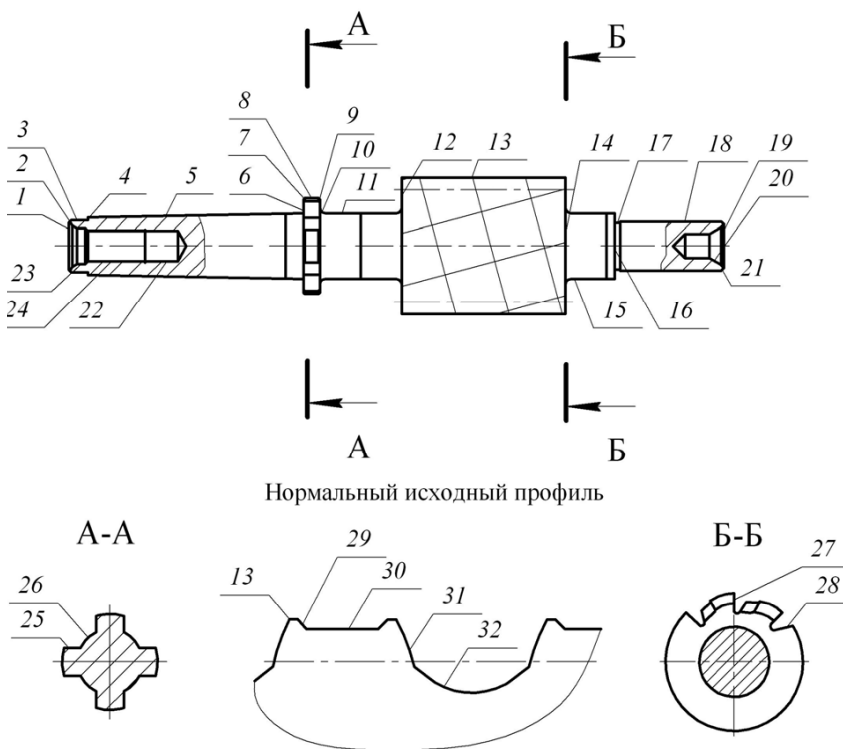


Рис. 1.9. Классификация поверхностей детали



Результаты сводят в таблицу, где поверхности классифицируют как исполнительные, свободные и конструкторские. В табл. 1.5 приведен пример классификации поверхностей, обозначенных на рис. 1.9.

Таблица 1.5

### Классификация поверхностей РИ

Вид поверхности	Номера поверхностей
Исполнительная	13, 27, 29, 30, 31, 32
Основная конструкторская база	5, 18, 25
Свободная	Остальные

На каждую из обозначенных в табл. 1.5 поверхностей из рабочего чертежа определяют технические требования, предъявляемые к готовой поверхности: допуск на размер (при необходимости – допуск на отклонение формы и отклонение поверхностей), а также параметр шероховатости  $Ra$  и твердость. Полученные сведения сводят в таблицу, аналогичную табл. 1.6.

Таблица 1.6

### Технические требования, предъявляемые к детали

Поверхность		Допуски на размер, мкм	Шероховатость $Ra$ , мкм	Твердость HRC	Примечание
Номер	Форма				

Затем на основе рекомендаций таблиц достижимой экономической точности (табл. 1.4) для каждой из поверхностей – в порядке повышения точности и снижения шероховатости – определяют последовательность и количество методов обработки.

Сначала определяют метод окончательной обработки, обеспечивающий требования чертежа по каждой поверхности, а затем начинают выбирать промежуточные методы обработки.

Результаты выбора методов обработки для каждой поверхности сводят в таблицу типа табл. 1.7, в которой показан пример выбора метода обработки поверхностей РИ.

Таблица 1.7

### Последовательность методов обработки поверхностей заготовки

Номер поверхности	Технические требования		Последовательность методов обработки
	кавалитет	шероховатость $Ra$	
5	8	1,25	$T_{пч}; ШК_{пч}$
15	12	5,0	$T_{пч}$
27	6	0,40	$T_{пч}; ШК_{пч}; ШК_{т}$

Далее группируют в единые операции обработку поверхностей, сходных по методу обработки, точности, шероховатости и технологическим возможностям станков. Результатом такого группирования является маршрут последовательности методов обработки резанием каждой поверхности. При определении маршрута последовательности обработки используют типовые решения, исходя из классификации режущего инструмента. При механической обработке сначала обрабатывают поверхности, принятые за технологические базы, затем остальные поверхности в последовательности обратной их точности. Чем точнее должна быть обработана поверхность (кроме базовой), тем позже ее получают. Согласно практике механической обработки, каждая последующая операция может повысить точность поверхности на 1...3 квалитета, причем при чистовой обработке это повышение возможно на меньшее число квалитетов, чем при черновой.

Полученный маршрут является предварительным, так как учитывает только операции механической обработки. Для составления окончательного технологического маршрута необходимо ввести еще такие операции, как контроль, мойка, упаковка, наладка станка с ЧПУ и т. п.

При составлении технологического маршрута определяют тип станка для каждой операции. На последующем этапе проектирования при разработке операционной технологии принятые решения корректируют, уточняют конкретные модели станков.

Перечень и содержание операций, оборудование и оснастку заносят в маршрутную карту, которая является документом, содержащим полное описание техпроцесса, включая контроль и перемещение по всем операциям в технологической последовательности, с указанием данных об оборудовании, оснастке, материальных и трудовых нормативах.

При изготовлении сборного и составного РИ, в том числе с использованием сварки и пайки, технологический маршрут составляется отдельно на каждую деталь и на сборочную единицу со своей нумерацией операций (табл. 1.8).

В табл. 1.8 приведен фрагмент плана обработки как иллюстрация маршрутной технологии изготовления хвостовой червячной фрезы, эскиз которой приведен на рис. 1.9.

Таблица 1.8

## Технологический маршрут обработки заготовки

№	Наименование операции	Номер поверхности		Технические требования	
		Базовая	Обрабатываемая	Квалитет IT, получаемый после обработки	Шероховатость поверхности после обработки Ra, мкм
Левый хвостовик					
005	Абразивно-отрезная	8	1	16	20
010	Токарная	8	1	14	12,5
Правый хвостовик					
005	Абразивно-отрезная	15	19	16	20
010	Токарная	15	19	14	12,5
Рабочая часть					
005	Абразивно-отрезная	13	12, 14	16	12,5
010	Токарная	13	12	14	12,5
015	Токарная	13	14	14	12,5
Сборочная единица (фреза червячная)					
005	Сварочная	13, 15	14	14	
010	Сварочная	13, 8	12	14	
015	Термическая (отжиг)				
020	Правильная	8, 15			
025	Центровально-подрезная	8, 15, 14	1, 19, 20	12, 10	3,2, 3,2
030	Токарная	1, 20	3, 4, 5, 6, 8, 10, 11, 12	13	6,3
140	Круглошлифовальная	1, 20	5	6	0,4
145	Круглошлифовальная	1, 20	18, 13	6, 8	0,4, 0,4
150	Заточная	1, 20	27	8	0,2
155	Шлифовально-заточная	1, 20	13, 29, 30, 31, 32	8	0,2
160	Моечная				
165	Химико-термическая				
170	Контрольная				

## 1.7. Проектирование технологической операции

### 1.7.1. Структура и содержание технологической операции

Проектирование технологической операции (ТО) проводят с учетом ее места в технологическом маршруте. Известно, какие поверхности и с какой точностью были обработаны на предыдущих операциях, какие поверхности и с какой точностью необходимо обработать на проектируемой операции. Схема построения ТО обусловлена количеством одновременно обрабатываемых заготовок, числом инструментов, участвующих в обработке, и последовательностью обработки поверхностей заготовки. Следует выбирать схему, позволяющую обработать заданные поверхности заготовки с наименьшим временем за счет совмещения переходов.

Проектирование ТО производится в такой последовательности:

- 1) определяют структуру и содержание операции;
- 2) производят выбор СТО (оборудования, приспособлений, режущего и контрольного инструмента);
- 3) назначают режимы обработки;
- 4) выполняют техническое нормирование операции;
- 5) заполняют технологическую документацию.

Эффективность ТП определяется затратами и временем, необходимыми для выполнения заданной программы выпуска изделий на каждой ТО.

*Программа выпуска* – это установленный для данного предприятия перечень изготавливаемых или ремонтируемых изделий с указанием объема выпуска по каждому наименованию в указанные сроки.

*Объем выпуска* – это количество изделий определенных наименований, типоразмеров, изготавливаемых или ремонтируемых в течение планируемого периода времени (например, годовой объем выпуска). Для равномерной по времени поставки объема изготавливаемого инструмента его запускают в обработку *производственными партиями*. Требуемую производственную партию для одновременного запуска определяют следующим образом:

$$П_n = \frac{П_г \cdot n_3}{N_г}, \quad (1.8)$$

где  $П_г$  – годовая программа (объем) выпуска инструмента, шт.;  $n_3$  – число дней, на которое должен быть обеспечен запас инструмента на складе (2...3 дня для крупных, 5...10 дней для мелких инструментов);  $N_г$  – число рабочих дней в году.

Производственную партию или ее часть, поступающую для выполнения ТО, называют *операционной партией*.

Норма времени согласно ГОСТ 3.1109-82 – это регламентированное время выполнения некоторого объема работ в определенных условиях одними или несколькими исполнителями соответствующей квалификации. Норму времени устанавливают на выполнение ТО как основного расчетного элемента ТП изготовления изделия.

На каждую технологическую операцию устанавливают норму времени и норму выработки. По сумме норм времени для каждой ТО определяют трудоемкость всего ТП, т. е. количество труда (в часах), затрачиваемого на изготовление изделия.

Интервал времени, равный отношению времени выполнения ТО к числу изделий, одновременно изготавливаемых на рабочем месте, называют *штучным временем*

$$t_{\text{шт}} = t_o + t_b + t_{\text{обс}} + t_{\text{лич}}, \quad (1.9)$$

где  $t_o$  – основное (машинное) время обработки, мин;  $t_b$  – вспомогательное время, мин;  $t_{\text{обс}}$  – время технологического обслуживания, мин;  $t_{\text{лич}}$  – время на отдых и личные надобности, мин.

*Основное время* – часть штучного времени, затрачиваемая на непосредственную обработку заготовки. При обработке на станках для каждого технологического перехода основное время равно

$$t_o = \frac{L \cdot Z_i}{tS}, \quad (1.10)$$

где  $S$  – скорость подачи инструмента, м/мин;  $t$  – глубина резания;  $L$  – длина пути, пройденного инструментом, м;  $Z_i$  – припуск, мм.

*Вспомогательное время* – часть штучного времени, затрачиваемая на установку, закрепление и снятие заготовки, подвод и отвод режущего инструмента, измерение обрабатываемой заготовки, управление механизмами и т. д.

Сумму основного и вспомогательного времени называют *оперативным временем*

$$t_{\text{оп}} = t_o + t_b. \quad (1.11)$$

*Время технологического обслуживания* – часть штучного времени, которая расходуется на подналадку оборудования, смену и настройку инструмента. В расчетах его назначают по нормативам или в процентах (до 6%) от оперативного времени.

*Время на отдых и личные надобности* – часть штучного времени, расходуемая на личные потребности и дополнительный отдых, составляет по нормативам около 2,5% к оперативному времени.

При обработке заготовок производственными партиями учитывают *подготовительно-заключительное* время  $t_{пз}$ , которое не зависит от размера партии и связано с подготовкой ТО, в частности, с получением материалов и инструментов, ознакомлением с технологической документацией и рабочим чертежом, установкой и снятием инструмента и приспособлений, наладкой станка, сдачей готовой работы и т. д.

Время, затрачиваемое на обработку одной заготовки, называют *штучно-калькуляционным* и определяют по формуле

$$t_{штк} = \frac{t_{пз}}{n_{дет}} + t_{шт}, \quad (1.12)$$

где  $n_{дет}$  — число деталей в партии.

Схемы ТО по числу одновременно обрабатываемых заготовок подразделяют на *одно-* и *многоместные*, по числу участвующих в работе инструментов на *одно-* и *многоинструментальные*.

На станках применяют *последовательный* способ выполнения операции, когда обработку поверхностей заготовки ведут последовательно, и *параллельный*, когда поверхности обрабатывают несколькими инструментами одновременно. Возможен *параллельно-последовательный* способ, когда изделия обрабатываются несколькими инструментами на каждом переходе, но каждый переход осуществляется последовательно. В табл. 1.9 приведены примеры построения ТО по указанным схемам.

К одноместной одноинструментальной последовательной обработке следует отнести наиболее простое построение операции, например обтачивание поверхности заготовки резцом на токарном станке (табл. 1.9, строка 1). Шлифование отверстия и торца двумя кругами — одноместная многоинструментальная последовательная обработка (табл. 1.9, строка 2). В этом случае вспомогательное время  $t_{в}$  должно учитывать время смены инструментов  $t_{с}$ . Сверление центрального отверстия с образованием конической и цилиндрической поверхностей — одноинструментальная параллельная обработка.

К многоместной обработке относятся операции, в процессе которых производится обработка двух и более заготовок (табл. 1.10). Например, обтачивание на единой оправке нескольких заготовок дискового инструмента одним резцом — одноинструментальная многоместная последовательная обработка (табл. 1.10, строка 1).

В практике инструментального производства возможно сочетание различных схем обработки. Например, одновременное шлифование стружечной канавки и спинки сверла — это многоинструментальная

параллельно-последовательная обработка на фрезерном полуавтомате. Одновременное фрезерование стружечных канавок на трех заготовках концевых фрез – многоинструментальная многоместная параллельно-последовательная обработка на шлифовальном станке-полуавтомате (табл. 1.10, строка 5). Одновременное обтачивание конических поверхностей наружного диаметра двух заготовок долбяков, установленных на единой оправке, одним токарным профильным резцом – многоместная параллельная одноинструментальная обработка (табл. 1.10, строка 3).

Таблица 1.9

Структура  $t_o$  и  $t_b$  для одноместной схемы обработки

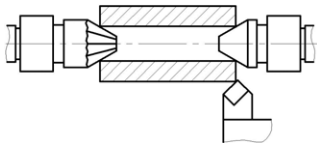
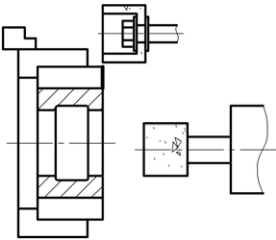
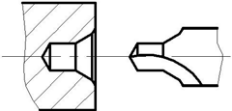
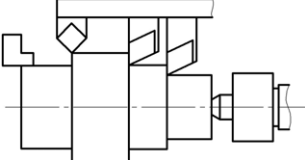
Схема обработки	Основное время	Вспомогательное время	Эскиз обработки
1. Последовательная одноинструментальная		$t_b = t_{yc} + t_{yn}$	
2. Последовательная многоинструментальная	$t_o = \sum_{i=1}^n t_{oi}$	$t_b = t_{yc} + t_{yn} + t_c$	
3. Параллельная одноинструментальная	$t_o = t_{ол}$	$t_b = t_{yc} + t_{yn}$	
4. Параллельная многоинструментальная	$t_o = t_{ол}$	$t_b = t_{yc} + t_{yn}$	

Схема обработки	Основное время	Вспомогательное время	Эскиз обработки
5. Параллельно-последовательная многоинструментальная	$t_o = \sum_{i=1}^n t_{ол}$	$t_b = t_y + t_{уп} + t_{инд}$	

При последовательной схеме обработки невозможно совместить время на установку и снятие заготовки, поэтому при последовательном выполнении переходов в процессе одно- или многоинструментальной обработки основное время  $t_o$  равно сумме времени выполнения всех переходов (табл. 1.9, строка 1).

При параллельной схеме обработки основное время определяется по наиболее длительному (лимитирующему) переходу  $t_{ол}$  (табл. 1.9, строка 4).

Параллельно-последовательные схемы обработки предусматривают перемещение заготовки на новую позицию либо перемещение инструмента, подводимого в зону резания с помощью поворотной головки или стола. Здесь основное время равно сумме времен последовательно выполняемых лимитирующих переходов.

Во всех случаях одноместной обработки вспомогательное время  $t_b$  складывается из времени всех вспомогательных переходов (табл. 1.9, строки 1–5). Здесь в состав  $t_b$  входит время смены инструмента  $t_c$  и время управления станком  $t_{уп}$ . В зависимости от вида операции может учитываться время  $t_{инд}$  индексации поворотных столов, делительных головок и др.

При многоместных схемах, в отличие от одноместной схемы обработки, технически возможно совмещение основного  $t_o$  и вспомогательного  $t_b$  времени. Многоместная схема реализуется на станках в следующих случаях:

- заготовки устанавливают в приспособление, например, на магнитной плите или в технологическом корпусе и ведут параллельную обработку всей операционной партии;
- заготовки устанавливают в приспособление и ведут их последовательную обработку независимо от других заготовок, например поочередно фрезеруют лапки конических хвостовиков сверл, установленных на круглом поворотном столе;



– заготовки обрабатывают на круглом вращающемся столе, в барабане или револьверной головке, которые обеспечивают независимую непрерывную установку и снятие заготовок. В качестве примера можно привести обработку заготовки сверла на трехпозиционном заточном станке-автомате, на 1-й позиции которого производится разгрузка-загрузка заготовок, на 2-й позиции – вышлифовывание стружечной канавки и на 3-й позиции – шлифование спинки сверла (табл. 1.10, строка 6).

Таблица 1.10

Структура  $t_o$  и  $t_b$  для многоместной схемы обработки

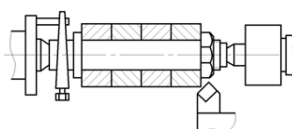
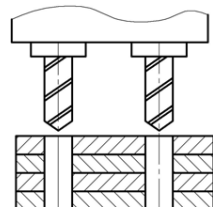
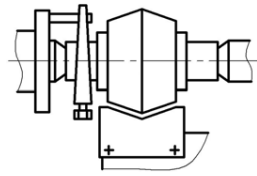
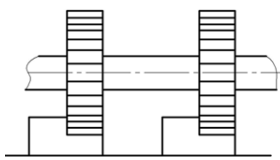
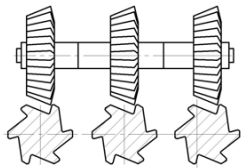
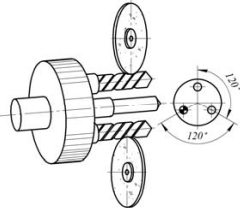
Схема обработки	Основное время	Вспомогательное время	Эскиз обработки
1. Последовательная одноинструментальная	$t_o = \frac{\sum_{i=1}^n t_{oi}}{n_{дет}}$	$t_b = \frac{t_{yc} + t_{yn}}{n_{дет}}$	
2. Последовательная многоинструментальная		$t_b = \frac{t_{yc} + t_{yn} + t_{инд}}{n_{дет}}$	
3. Параллельная одноинструментальная	$t_o = \frac{t_{o.л}}{n_{дет}}$	$t_b = \frac{t_{yc} + t_{yn}}{n_{дет}}$	
4. Параллельная многоинструментальная			

Схема обработки	Основное время	Вспомогательное время	Эскиз обработки
5. Параллельно-последовательная многоинструментальная с раздельным закреплением заготовок	$t_o = t_v = \frac{t_{o.l.}}{n_{дет}}$	$t_v = \frac{t_{уп} + t_{инд}}{n_{дет}}$	
6. С непрерывным закреплением заготовок	$t_o = t_{o.l.}$	0	

Основное и вспомогательное время обработки в таких многоместных схемах определяется частным от деления суммы всех затрат времени на число обрабатываемых заготовок. При установке и снятии заготовки без прерывания процесса обработки происходит совмещение вспомогательного и основного времени. Основное время определяется временем лимитирующего перехода (например, вышлифовывания стружечной канавки), деленным на число одновременно обрабатываемых изделий  $n_{дет}$ .

Выбор структуры ТО обусловлен типом производства. Ее техническая целесообразность определяется требованиями к точности размеров, качеству поверхностного слоя изделия и производительности обработки. Наименьшая производительность достигается при односторонней одноинструментальной последовательной обработке. Наиболее высокая производительность обеспечивается путем построения ТО в виде многоместной многоинструментальной параллельно-последовательной обработки с совмещением времени загрузки-выгрузки детали с основным временем.

### 1.7.2. Выбор средств технологического оснащения

Согласно ГОСТ 14.301-85 к средствам технологического оснащения (СТО) производства относят технологическое оборудование (станки), технологическую оснастку (приспособления, режущий инструмент, средства контроля) и средства автоматизации и механизации

производства. Выбор СТО зависит от типа производства, программы выпуска, технологии изготовления изделия, содержания и схемы построения операций.

Выбор СТО производят в три этапа.

1. При разработке маршрута изготовления детали устанавливают необходимую группу оборудования, тип приспособления и режущего инструмента.
2. В процессе проектирования операционной технологии определяют конкретные типы и модели станков, конструкции приспособлений, типоразмер и характеристику режущего инструмента.
3. После выбора схем построения ТО, технологических наладок и определения режимов резания производят проверку соответствия выбранного СТО конкретным условиям обработки.

При выборе модели станка из каталога (например, справочной литературы) или из оборудования, имеющегося в действующем производстве, необходимо руководствоваться следующими правилами:

- модель станка должна обеспечить заданные точность и качество обработанных поверхностей;
- технические возможности станка должны соответствовать заданной программе выпуска;
- размеры рабочей зоны станка должны соответствовать габаритным размерам заготовки и приспособлений.

Оборудование, применяемое в инструментальном производстве, подразделяется на станки общего назначения, специализированные и специальные.

К станкам общего назначения относят токарные, фрезерные, шлифовальные, сверлильные, заточные и др. Их применяют как при изготовлении инструментов, так и деталей машин в общемашиностроительном производстве. Современные станки имеют относительно большой диапазон регулирования параметров режима резания, они оснащаются, как правило, устройством цифровой индикации и комплектами специальной технологической оснастки. Именно широкий выбор технологической оснастки позволяет универсальным станкам выполнять широкий спектр ТО.

*Специализированные станки* используют для обработки заготовок инструмента одного класса, но с разными геометрическими размерами. К ним относят:

- токарные автоматы и полуавтоматы для обработки цилиндрических и конических поверхностей на заготовках осевого инструмента;

- автоматы и полуавтоматы для фрезерования стружечных канавок, лапок и квадратов;
- резьбошлифовальные станки для шлифования резьбы на заготовках метчиков, резьбонакатных роликов, фрез некоторых типов;
- полуавтоматы для шлифования и заточки зуборезных долбяков, протяжек, червячных фрез и шеверов;
- оптикошлифовальные станки для шлифования сложнопрофильных поверхностей фасонных резцов, фрез и т. д.;
- шлифовально-заточные станки с ЧПУ для вышлифовывания стружечных канавок и заточки режущих инструментов.

Специализированные станки оснащают аналоговой системой управления или системами ЧПУ, однако они могут работать и в ручном режиме. Специализированные станки могут быть быстро переналажены с помощью сменных приспособлений.

*Специальные станки* имеют ограниченный диапазон обрабатываемых изделий и предназначены, как правило, для выполнения одной технологической операции, например, вышлифовывания стружечных канавок, заточки червячных фрез, протяжек и т. п. Такие станки позволяют сократить основное и вспомогательное время операции за счет средств активного контроля и максимальной автоматизации обработки, загрузки и выгрузки заготовок.

После выбора станочного оборудования определяются с технологической оснасткой. Вид и модель приспособления зависят от выбранной модели станка и схемы базирования и закрепления заготовки.

**Выбор режущего инструмента.** Режущий инструмент рекомендуется выбирать в зависимости от методов обработки и обрабатываемого материала. Необходимо стремиться применять стандартный инструмент, но при возможности совмещения обработки нескольких поверхностей следует использовать специальный, комбинированный, фасонный инструмент.

Для автоматизированного оборудования с ЧПУ следует применять инструментальные блоки, состоящие из режущего и вспомогательного инструментов. Собранный инструментальный блок предварительно настраивают на заданный размер, устанавливают и закрепляют на станке без дополнительной регулировки. Вспомогательный инструмент имеет унифицированные типовые параметры базовых поверхностей, необходимых для сборки инструментальных блоков. Для токарных станков с ЧПУ основными режущими инструментами служат резцы, сверла, зенкеры, развертки преимущественно с механическим креплением непере-

тачиваемых твердосплавных пластин, а вспомогательными – держатели, закрепляемые в револьверной головке. Для сверлильно-фрезерных станков с ЧПУ основными режущими инструментами блока являются сверла, фрезы, а вспомогательными – держатели с коническим хвостовиком, закрепляемым в конусном отверстии шпинделя станка.

**Выбор измерительных средств.** Для контроля размеров гладких валов и отверстий применяют предельно гладкие калибры-скобы и калибры-пробки, а также пневматические калибры-пробки. Для определения действительных размеров валов и отверстий используют универсальные измерительные инструменты: штангенциркули (цена деления 0,1 и 0,05 мм), микрометры (0,01 мм), рычажные микрометры (0,001 мм), микрометрические и рычажные нутромеры (0,01 и 0,001 мм). Измерение угловых размеров, например углов режущей части инструмента, производят универсальными угломерами. Размеры с высокими требованиями по точности контролируют с помощью инструментальных микроскопов. Для контроля конических, профильных поверхностей применяют косвенные (тригонометрические) методы, предусматривающие использование синусных приспособлений, аттестованных колец, шариков или роликов.

Контроль погрешностей формы и отклонения поверхностей производят с помощью поверочных контрольных плит, штативов с индикаторами часового типа (цена деления 0,01 и 0,001 мм). Для измерения погрешности формы цилиндрических деталей применяют кругломеры. Контроль поверхностей режущей части инструмента производят с помощью специальных приборов. Профильную поверхность, в том числе фасонных резцов, зуборезных инструментов контролируют с помощью относительного метода измерения. Производится оценка расположения точек измеряемого профиля относительно базовых точек, линий или поверхностей с помощью специальных проекторов, на которых отражается действительный и номинальный профили детали, а также с помощью контрольно-измерительных машин.

Наиболее разнообразный комплект измерительных средств используют для контроля профиля зуборезных инструментов – долбяков, червячных фрез, шеверов и др. Измерение отдельных параметров зубчатого профиля (осевого шага, высоты, толщины зуба и др.) производят с помощью зубомеров (цена деления 0,02 мм) и угломеров. Контроль профиля и шага зубьев, биение зубчатого венца, накопленную погрешность шага зубьев и др. выполняют с помощью контрольно-измерительных машин и специальных приборов – эвольвентомеров,

биение мер и пр. Получили распространение контрольно-измерительные трех-четырёхкоординатные машины, обеспечивающие комплексный контроль сложнопрофильных координатно-связанных поверхностей инструмента с высокой, до 0,0001 мм точностью.

Шероховатость обработанных поверхностей детали контролируют профилометрами, обеспечивающими измерение параметров  $Ra$  и  $Rz$ , задаваемых рабочим чертежом, а при необходимости – шаг между вершинами микропрофиля  $S_m$ , относительную опорную длину  $t_p$  и др.

### 1.7.3. Определение режимов резания

Определение режимов резания является многофакторной задачей, в которой необходимо учитывать технологическую схему обработки, тип и размеры инструмента, технологические и физико-механические свойства обрабатываемого материала, метод получения заготовки, модель и состояние станочного оборудования.

Назначение режимов резания заключается в определении глубины резания  $t$ , подачи  $S$  и скорости  $V$ , обеспечивающих заданную производительность обработки, шероховатость обработанных поверхностей и требуемую точность размеров детали.

Между показателями процесса резания и элементами режима обработки установлены эмпирические соотношения типа

$$P_p = C_p t^{x_n} S^{y_n} V^{z_n} K_i, \quad (1.13)$$

где  $P_p$  – показатель процесса резания;  $C_p$  – постоянный коэффициент;  $x_n, y_n, z_n$  – показатели степени, характеризующие влияние соответствующего элемента режима резания на данный показатель;  $K_i$  – поправочные коэффициенты, учитывающие свойства обрабатываемого материала, подачу СОТС и др.

При выборе режимов резания сначала определяют глубину резания  $t$ , поскольку она связана с величиной операционных припусков, рассчитанных ранее расчетно-аналитическим или опытно-статистическим методами [11; 24].

Продольная подача  $S$  при черновой обработке назначается максимально допустимой с точки зрения ограничения по жесткости режущего инструмента и механизма подачи станка. При чистовой обработке подача  $S$  ограничена требованиями достижения заданной точности размеров и шероховатости обработанной поверхности; ее величину выбирают по нормативным справочникам [11; 21].

Скорость резания рассчитывают по эмпирическим формулам, имеющим общий вид

$$V = \frac{C_v}{T_p^{m_v} t^{x_v} S^{y_v}} \cdot K_v \quad (\text{м/мин}) \quad (1.14)$$

и устанавливающим связь между величиной  $V$  и стойкостью режущего инструмента  $T_p$ . Значения коэффициента  $C_v$ , показателей степени  $m_v, x_v, y_v$ , поправочного коэффициента  $K_v$ , учитывающего физико-механические свойства обрабатываемого материала, и периода стойкости  $T$  приводятся в нормативных справочниках для каждого вида обработки, например в [21].

По скорости  $V$  определяют расчетную частоту вращения шпинделя при точении

$$n = \frac{1000V}{\pi D_{\text{заг}}}, \quad (1.15)$$

где  $D_{\text{заг}}$  — диаметр заготовки.

Для фрезерования, сверления, шлифования вместо  $D_{\text{заг}}$  подставляется значение диаметра инструмента  $D_{\text{и}}$ . Полученное расчетное значение  $n$  корректируют по фактическим частотам вращения шпинделя станка (при ступенчатом регулировании), принимая ближайшее меньшее значение.

Исключение составляют операции шлифования и заточки, поскольку частота вращения шлифовального круга на большинстве станков не регулируется, а скорость резания составляет 35 м/с для обычного шлифования, 45 м/с, 60 м/с и более для скоростного и высокоскоростного шлифования.

После определения  $t, S$  и  $V$  рассчитывают главную составляющую силы резания по эмпирической зависимости вида

$$P_z = C_{pz} t^x S^y V^z K_i. \quad (1.16)$$

Значения показателей степеней  $x_p, y_p, z_p$  и поправочных коэффициентов  $K_i$  берут из справочной литературы [21].

Структура формулы (1.16) зависит от метода обработки. Например, для фрезерования она имеет вид

$$P_z = \frac{10C_{pz} t^x S_z^y B^n z}{D_{\text{ф}}^q n_{\text{ф}}^w}, \quad (1.17)$$

где  $S_z$  — подача на зуб фрезы, мм/зуб;  $D_{\text{ф}}$  — диаметр фрезы, м;  $n_{\text{ф}}$  — частота вращения фрезы, об/мин;  $z$  — число зубьев;  $B$  — ширина фрезерования;  $x, y, n, q, w$  — показатели степени.

После расчета силы определяют мощность резания по формуле

$$N_p = \frac{P_z V}{60}. \quad (1.18)$$

Процесс резания на рассчитанных режимах возможен, если соблюдается условие

$$N_3 \eta \geq N_p, \quad (1.19)$$

где  $N_3$  – мощность электродвигателя привода главного движения;  $\eta$  – КПД кинематической цепи главного движения.

При невыполнении условия (1.19) следует уменьшить скорость резания за счет снижения частоты вращения шпинделя станка или значения  $t$ ,  $S$ , вновь провести расчет  $P_z$ ,  $N_p$ ,  $N_3$  и выполнить проверку.

Далее на каждую технологическую операцию устанавливают норму времени и норму выработки. По сумме норм времени для каждой ТО определяют трудоемкость всего ТП, т. е. количество труда (в часах), затрачиваемого на изготовление изделия.

### 1.8. Техничко-экономические показатели технологического процесса

Проектирование ТП изготовления детали инструмента целесообразно выполнять в нескольких вариантах. Последующий технико-экономический анализ ТП позволит выбрать вариант, наиболее полно отвечающий поставленным целям.

На начальных этапах проектирования ТП применяют ряд частных показателей, позволяющих сделать качественную оценку правильности выбранного направления работ, например, коэффициент использования материалов

$$K_{им} = \frac{M_{дет}}{M_{заг}}, \quad (1.20)$$

где  $M_{дет}$  и  $M_{заг}$  – соответственно масса детали и заготовки.

Сравнение значений  $K_{им}$  позволяет выбрать заготовку с наименьшими припусками на обработку, что способствует повышению производительности черновых ТО.

Для оценки эффективности варианта ТО применяют также коэффициент основного времени  $K_{о.в}$

$$K_{о.в} = \sum_{i=1}^n \frac{t_{oi}}{t_{штi}}, \quad (1.21)$$

где  $n$  – число технологических операций.



Чем выше значение  $K_{o,в}$ , тем эффективнее используется станочное оборудование. Расчет можно выполнить как по отдельной ТО, так и для ТП в целом.

Общую трудоемкость механической обработки изделия  $t_{м.о}$  по сравнимым вариантам оценивают с помощью формулы

$$t_{м.о} = \sum_{i=1}^n t_{штi} \cdot \quad (1.22)$$

Относительная разница между двумя проектируемыми вариантами ТП

$$K_{вр} = \frac{t_{шт1} - t_{шт2}}{t_{шт1}} \cdot 100\% \quad (1.23)$$

может достаточно наглядно показать преимущество одного из них. В формуле (1.23)  $t_{шт1}$ ,  $t_{шт2}$  – нормы штучного времени сравниваемых вариантов.

Отмеченные выше показатели эффективности носят частный характер и не могут оценить в полном объеме эффективность ТП, поэтому их используют на начальных этапах проектирования ТП для предварительной качественной оценки.

Полную оценку сравниваемых вариантов ТП проводят на заключительном этапе проектирования по технологической себестоимости изготовления по проектируемым вариантам. При этом в многооперационных ТП порой достаточно провести экономическое обоснование технического совершенствования технологических операций, в которых проведено изменение показателей.

Основными исходными данными для технико-экономического анализа вариантов ТП являются:

- годовая программа выпуска деталей;
- трудоемкость операции (штучное время) по проектируемым вариантам;
- себестоимость получения заготовки (если меняется способ ее получения);
- вид, тип, модель оборудования, его габариты, мощность, стоимость;
- вид оснастки, инструмента и их ориентировочная стоимость.

Технологическая себестоимость определяется суммой затрат, необходимых на изготовление одной детали или всей готовой программы выпуска.

$$C_{т} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7, \quad (1.24)$$

где  $C_1$  – стоимость заготовки;  $C_2$  – затраты на зарплату, включая дополнительную зарплату и начисления;  $C_3$  – затраты на амортизацию станков;  $C_4$  – затраты на эксплуатацию станков;  $C_5$  – затраты на технологическую оснастку;  $C_6$  – затраты на инструмент;  $C_7$  – затраты на содержание производственных помещений.

Если по исследуемым вариантам ТП производят капитальные вложения (приобретение оборудования, дорогостоящих инструментов и др.), то производят расчет экономического эффекта

$$\mathcal{E} = [(C_{N_1} - C_{N_2}) + E_n(K_1 - K_2)]P_T, \quad (1.25)$$

где  $C_{N_1}$  и  $-C_{N_2}$  – себестоимости выпуска детали по первому и второму вариантам;  $E_n$  – нормативный коэффициент;  $K_1$  и  $K_2$  – капитальные затраты по первому и второму вариантам,  $P_T$  – годовая программа выпуска инструмента.

### Вопросы для самоконтроля

1. Каковы основные функции и содержание технологической подготовки производства?
2. Какие документы являются результатом проектирования технологии изготовления детали?
3. Назовите основные структурные элементы ТП.
4. Чем отличается технологический процесс от технологической операции?
5. Каковы основные положения типизации технологического процесса?
6. Объясните термины *базирование*, *установка*, *закрепление заготовки*.
7. В каком случае для базирования заготовки достаточно трех опорных точек?
8. Назовите основные этапы разработки ТП изготовления инструмента.
9. В чем заключается отличие маршрутной технологии от операционной технологии?
10. Почему возникает необходимость пересчета конструкторских размеров и допусков на технологические размеры и допуски?
11. Какие методы определения операционных припусков применяют при проектировании технологии?
12. В какой последовательности устанавливают режимы резания?
13. Как оценить технико-экономическую эффективность вариантов ТП?

## Глава 2. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ СВОЙСТВА

---

---

### 2.1. Основные требования, предъявляемые к инструментальным материалам

Процесс резания сопровождается пластическими деформациями обрабатываемого материала с выделением значительной тепловой энергии. Температура в контакте инструмента и заготовки достигает 1000 и более градусов по Цельсию. Удельное давление на передних и задних поверхностях инструмента на один-два порядка выше соответствующих давлений в контакте взаимодействующих деталей машин. Это объясняет, почему инструментальные материалы должны обладать более высокими по сравнению с конструкционными материалами физико-механическими свойствами.

Твердость инструментального материала должна существенно превышать твердость материала заготовки. Превышение твердости должно сохраняться и при нагреве инструмента в процессе резания до весьма высоких температур.

Инструментальный материал должен обладать прочностью, достаточной для того, чтобы выдерживать значительные нагрузки и обеспечивать высокую стойкость режущих кромок.

Обладая высокой твердостью и прочностью, инструментальный материал должен при этом иметь относительно хорошие технологические свойства.

Стоимость инструментального материала должна быть по возможности низкой, так как она влияет на экономические показатели производства деталей машин.

При производстве инструментов решающее значение имеют технологические свойства материала, к числу которых относятся:

- закаливаемость – способность стали приобретать в результате закалки высокую твердость и оптимальную структуру;
- прокаливаемость – способность стали закаливаться на определенную глубину;
- устойчивость к образованию трещин при термической обработке и шлифовании;
- устойчивость к обезуглероживанию и окислению.

Важнейшими технологическими свойствами являются обрабатываемость резанием и шлифуемость. От обрабатываемости резанием во многом зависит производительность обработки заготовок инструмента лезвийным инструментом. Под шлифуемостью подразумевается возможность получения шлифованной поверхности с заданной точностью, шероховатостью и качеством поверхностного слоя. Каждый материал обладает определенной чувствительностью к образованию трещин и изменению структуры поверхностного слоя при шлифовании. Это свойство является очень важным, так как все инструменты при изготовлении обрабатываются шлифованием, а в эксплуатации подвергаются многократным заточкам. Выбор марки стали при конструировании инструмента без учета обрабатываемости резанием и шлифуемости может повлечь за собой дополнительные затраты как при производстве инструментов, так и в процессе их эксплуатации.

Материалы, применяемые в производстве инструментов, можно разделить на две группы:

- 1) материалы, из которых изготавливают рабочую часть инструмента: углеродистые и легированные инструментальные стали, быстрорежущие стали, твердые сплавы и др.;
- 2) материалы, которые идут на изготовление корпусов инструментов. Это в основном углеродистые и легированные конструкционные стали 45, 40Х, 40ХН2МА, 40ХГНМ и др. В ряде случаев корпуса изготавливают из углеродистых и легированных инструментальных сталей типа У7, 9ХС, ХВГ, ХВСГ, так как они лучше противостоят силовым нагрузкам и истиранию сходящей стружкой.

Режущие инструменты, изготовленные из углеродистой и легированной инструментальной стали, обладают сравнительно невысокой износостойкостью. Теплостойкость этих сталей не превышает 200...230° С, поэтому их применяют только при изготовлении инструментов, предназначенных для обработки мягких металлов или для работы с низкими скоростями резания: метчиков, плашек, напильников и пр. Свойства и химический состав углеродистых и легированных сталей широко представлены в справочной литературе [7; 16; 27].

В настоящее время для изготовления режущих инструментов, применяемых на современных машиностроительных предприятиях, преимущественно используются быстрорежущие стали, твердые сплавы и сверхтвердые материалы.

## 2.2. Быстрорежущие стали

Из быстрорежущих сталей, по данным зарубежных фирм, изготовляют около 50% инструментов. Быстрорежущие стали относятся к теплостойким сталям высокой твердости (63...70 HRC). Скорость резания инструментами из быстрорежущих сталей в 2...4 раза, а стойкость в 10...40 раз выше, чем у инструментов из углеродистых и легированных инструментальных сталей. Режущие свойства быстрорежущих сталей зависят от многих факторов, важнейшим из которых является химический состав (табл. 2.1). В табл. 2.1 приведен химический состав сталей по отечественному стандарту и техническим условиям (ТУ), в табл. 2.2 – маркировка по классификации Американского института черной металлургии (AISI). В табл. 2.3 и 2.4 приведены обозначения ведущих мировых производителей быстрорежущих сталей, которые применяются в отечественном инструментальном производстве, – фирм ERASTEEL (Франция) и Böhler (Австрия) [29; 30; 31; 32].

По содержанию легирующих элементов можно определить аналогии быстрорежущих сталей, выпускаемых различными производителями. Так, стали P18 по ГОСТ 1926-73 соответствуют маркам сталей T1 (AISI), ET1 (ERASTEEL) и S200 (Böhler). Зная соответствие между марками стали, можно оценить их технологические и физико-механические свойства.

По химическому составу быстрорежущие стали можно подразделить на вольфрамовые, молибденовые и вольфрамомолибденовые. Все быстрорежущие стали содержат 0,8...1,2% углерода. В зависимости от служебного назначения и преобладающих видов нагрузок эти стали дополнительно легируют алюминием, ванадием, кобальтом и хромом.

Основные свойства быстрорежущих сталей зависят от размеров и расположения в матрице стали карбидов – соединений легирующих металлов с углеродом. Карбидообразующим элементом является *углерод*, обеспечивающий прочность матрицы стали. *Вольфрам* и *молибден* способствуют повышению теплостойкости, сохраняют твердость и прочность матрицы, образуя карбиды высокой твердости. *Ванадий* образует наиболее твердые карбиды, способствуя повышению твердости и прочности стали при высоких температурах. *Кобальт*, не образуя карбидов, улучшает теплостойкость стали, а в отсутствие достаточного количества углерода образует интерметаллидные соединения с молибденом и вольфрамом, имеющие особо высокую твердость и теплостойкость. *Хром* является легирующим элементом, обеспечивающим прокаливаемость стали на большую глубину.

Таблица 2.1

## Химический состав основных марок быстрорежущей стали по ГОСТ 1926-73 и ТУ [3; 7]

Марка стали	Содержание элементов, %						Твердость	
	C	Cr	W	Mo	V	Co	отжиг, HB	закалка, HRC
Стали нормальной теплостойкости (600–620° С)								
P18	0,7...0,8	3,8...4,4	17,0...18,5	≤1,0	1,0...1,4	–	255	62
P12	0,8...0,9	3,1...3,6	12,0...13,0	≤1,0	1,5...1,9	–	255	62
P9	0,85...0,95	3,8...4,4	8,5...10,0	≤1,0	2,0...2,6	–	255	62
P6M5	0,80...0,88	3,8...4,4	5,5...6,5	5,0...5,6	2,0...2,5	–	255	63
Стали повышенной теплостойкости (635–650° С)								
P6M5K5	0,82...0,90	3,8...4,3	6,0...7,0	4,8...5,8	1,7...2,2	4,8...5,3	269	64
P6M5Ф3–МП	1,25...1,35	3,8...4,3	5,7...6,3	3,1...3,7	2,5...3,0	≤0,5	269	65
P12M5Ф5–МП	1,45...1,55	3,8...4,3	11,5...12,5	1,0...1,5	4,0...4,6	≤0,5	285	60
P12Ф4К5	1,25...1,35	3,5...4,4	12,5...14,0	1,0	3,2...3,8	5,0...6,0	285	64
P12 M3Ф2К8	0,95...1,04	3,8...4,4	11,0...13,0	2,8...3,4	1,8...2,4	–	285	64
P12Ф3	0,94...1,04	3,5...4,0	12,5...13,5	1,0	2,5...3,0	–	269	63
P10M4K10Ф3	0,96...1,06	3,8...4,3	10,0...11,0	3,8...4,3	3,3...3,8	9,5...10,5	285	64
ЮР8M4K5	1,0	4,2	6,7	3,7...4,3	2,0	4,8...5,3	285	64
Л2Р6M5Ф3К10	1,2	3,2	6,5	4,8...5,8	2,5...3,0	4,8...5,3	285	64
Стали высокой теплостойкости (700–720° С)								
B11M7K23	0,1	0,5	10,5...12,0	7,0...8,0	0,4...0	22,5...24		
B14K25	0,1	–	14,0	7,0	0,5	25,0		
3B20K20X4Ф	0,25	4	20	–	1	20		

Таблица 2.2

Химический состав быстрорежущих сталей  
по классификации AISI (США) [7]

Марка стали	Содержание элементов, %					
	C	Cr	W	Mo	V	Co
Быстрорежущие вольфрамовые стали						
T1	0,75	4,0	18,0	—	1,0	—
T4	0,75	4,0	18,0	—	1,0	5,0
T6	0,80	4,0	20,0	—	1,5	12,0
T15	1,55	4,0	12,2	—	5,0	5,0
Быстрорежущие молибденовые стали						
M1	0,85	3,8	1,8	8,6	1,2	—
M2	0,90	4,2	6,0	5,0	1,8	—
M4	1,33	4,3	5,9	4,9	4,0	—
M7	1,00	3,8	1,8	8,6	1,9	—
M30	1,20	4,2	6,3	8,0	3,2	10,0
M41	1,09	4,0	6,0	5,0	1,8	4,8
M42	1,07	3,8	1,5	9,5	1,2	8,0

Первой в обозначении быстрорежущих сталей стоит буква **Р**. Следующие цифры означают среднюю массовую долю вольфрама. Последующие буквы **М, Ф, К** и цифры обозначают содержание молибдена, ванадия, кобальта с указанием их массовой доли в процентах. Содержание хрома во всех быстрорежущих сталях в маркировке не обозначается. Буква **Ш** в конце аббревиатуры указывает на то, что сталь получена методом электрошлакового переплава. Сталь, полученная методом порошковой металлургии, имеет индекс **МП** в конце маркировки.

Быстрорежущие стали нормальной теплостойкости содержат, как правило, до 1,0% углерода. По химическому составу они отличаются содержанием вольфрама. Вольфрамовые стали содержат от 9 до 18% вольфрама, а вольфрамомолибденовые всего лишь 6...8%. Стали повышенной теплостойкости содержат до 1,5% углерода, вольфрам, а также молибден, хром, кобальт и ванадий в разных пропорциях.

Стали высокой теплостойкости имеют незначительное по сравнению с любыми другими сталями содержание углерода, повышенное количество кобальта и других легирующих элементов. Правильнее их именовать не сталями, а сплавами. Буква **Р** в маркировке этих сплавов не ставится. Из-за отсутствия достаточного количества углерода в этих сталях при термообработке вместо карбидов металлов образуют-

ся интерметаллид  $Co_7W_6$ , являющийся фазой-упрочнителем. Красностойкость этих сталей примерно на  $100^\circ C$  выше, чем у традиционных быстрорежущих сталей, содержащих карбиды металлов, а твердость после закалки доходит до 68...70 HRC [4].

В качестве базы для сравнительной оценки свойств быстрорежущих сталей принята сталь P18, обладающая относительно высокой красностойкостью, твердостью в горячем состоянии, износостойкостью, вязкостью и относительно хорошей шлифуемостью. Из-за высокого содержания вольфрама сталь имеет повышенное количество карбидов. В этой стали карбиды относительно крупные, что снижает режущие свойства инструментов, имеющих точную режущую кромку. В связи с этим сталь P18 рекомендуется для изготовления инструментов простой формы типа фрез, резцов и пр. В настоящее время из-за большого содержания дефицитного вольфрама сталь P18 имеет ограниченное применение. Ее практически вытеснили стали с меньшим содержанием вольфрама и дополнительным легированием молибденом, ванадием и кобальтом. При этом следует учитывать, что увеличение содержания ванадия ухудшает шлифуемость сталей из-за высокой твердости карбида ванадия. Молибден и кобальт приводят к повышению хрупкости и обезуглероживанию поверхностного слоя. Это требует применения мер по предупреждению от обезуглероживания наружной поверхности заготовки инструмента, в частности увеличения припусков на предварительную обработку и шлифование.

Таблица 2.3

Химический состав быстрорежущих сталей фирмы Böhler

Марка стали	Содержание элементов, %						Твердость	
	C	Cr	W	Mo	V	Co	после отжига, HB	после закалки, HRC
S200	0,76	4,1	18,0	—	1,1	—	280	64...66
S400	1,02	3,8	1,9	8,6	1,8	—	280	64...66
S500	1,10	3,9	1,4	9,2	1,0	7,8	280	67...69
S600	0,90	4,1	6,2	5,0	1,8	—	280	64...66
S607	1,21	4,1	6,2	5,0	2,9	—	300	64...66
S700	1,26	4,0	9,3	3,6	3,2	10		65...67
S290*	2,00	3,8	14,3	2,5	5,0	11,0	350	66...70
S390*	1,64	4,8	10,4	2,0	4,8	8,0	300	65...69
S590*	1,29	4,2	6,3	5,0	3,0	8,4	300	65...67
S690*	1,35	4,1	5,9	5,0	5,0	—	280	64...66

\* Получена методом порошковой металлургии



Таблица 2.4

## Химический состав быстрорежущих сталей фирмы ERASTEEL

Марка стали	Содержание элементов, %						Твердость	
	C	Cr	W	Mo	V	Co	после отжига, HB	после закалки, HRC
ET1	0,74	4,0	18	—	1,1	—	270...320	62...65
EM1	0,83	3,8	1,8	8,5	1,2	—	260...310	62...65
EM50	0,84	4,1	-	4,2	1,1	—	260...300	60...64
EM2	0,9	4,2	6,4	5,0	1,8	—	270...310	60...65
EM3:1	1,05	4,0	6,3	6,3	2,5	—	280...320	62...64
EM3:2	1,2	4,1	6,2	5,6	3,0	—	270...320	62...66
E945	0,91	3,7	1,8	5,0	4,0	—	280...320	61...65
EM35	0,93	4,2	6,0	5,0	1,8	4,8	270...320	60...66
C8	1,05	4,0	5,0	6,0	1,6	7,8	280...320	64...68
WKE42	1,27	4,0	9,5	3,6	3,2	8,0	300...330	65...67
ASP2005*	1,5	4,0	2,5	2,5	4,0	—	260...310	60...64
ASP2023*	1,28	4,2	6,4	5,0	3,1	—	260...320	62...66
ASP2030*	1,28	4,2	6,4	5,0	3,1	8,5	300...320	63...67
ASP2060*	2,30	4,2	6,5	7,0	6,5	10,5	300	64...69

\* Получена методом порошковой металлургии

Сталь марки P12Ф3 при удовлетворительной шлифуемости имеет несколько повышенную износостойкость, более высокую красностойкость и твердость в горячем состоянии по сравнению со сталями P18 и P9. Стали марок P6M5 и P6M5K5 по красностойкости и твердости в нагретом состоянии близки к стали P18. Обладая значительно меньшей карбидной неоднородностью, они имеют лучшие механические свойства, в том числе лучшую пластичность в нагретом состоянии и шлифуемость, поэтому применяются для изготовления различных инструментов, работающих в условиях динамических нагрузок и больших подач. Сталь марки P10M4K10Ф3 обладает высокой износостойкостью, повышенной твердостью в нагретом состоянии и красностойкостью. Шлифуемость этой стали относительно низкая из-за наличия в ее составе карбида ванадия.

Стали, содержащие кобальт, обладают повышенной вязкостью, поэтому применяются для инструментов, работающих с ударными нагрузками. Кобальтовые быстрорежущие стали 10P8M4K5,

12P6M5Ф3К10 и др. с содержанием углерода от 1...1,2% обладают наибольшей твердостью и теплостойкостью (635...650° С).

Стали, а точнее сплавы В11М7К23, В14К25 и др., обладают высокой твердостью, теплопроводностью и пониженной обрабатываемостью резанием. Твердость таких сталей после отжига составляет 32...37 HRC. Их рекомендуют применять для изготовления инструментов, предназначенных для точения, фрезерования и строгания труднообрабатываемых материалов. Наиболее эффективно применение таких сталей для обработки титановых сплавов и жаропрочных сталей.

В последние годы резко возрастает производство быстрорежущих сталей методом порошковой металлургии, позволяющим получить исключительно однородную мелкозернистую структуру металла. При плавке сталь продувают аргоном для выведения из нее шлаковых включений, затем поток расплавленной стали распыляют в жидком азоте, в результате чего образуются застывшие мелкие гранулы металла. Не допуская окисления поверхности гранул, их помещают в стальной, герметично закрывающийся контейнер, в котором создают вакуум, и производят спекание содержимого контейнера при температуре 1500 С и высоком давлении. Полученный материал затем подвергают прокатке, так же как и обычную быстрорежущую сталь [29].

Порошковая сталь может содержать больший, чем обычная быстрорежущая сталь, процент карбидов при весьма равномерном их распределении в структуре. При этом в сталь вводят повышенное (6...8%) количество ванадия, образующего наиболее твердые и износостойкие карбиды, и увеличивают до 2,0...2,5% содержание карбидообразующего элемента – углерода.

Порошковую сталь отличает высокая прочность, а также износостойкость, близкая к уровню износостойкости твердого сплава. Обладая более высокой твердостью и прочностью по сравнению с быстрорежущей сталью, полученной плавкой, порошковая сталь, однако, имеет лучшую шлифуемость. Это обусловлено мелкозернистой структурой стали и малыми размерами карбидов металлов, имеющих твердость до 70 HRC. В целом шлифуемость порошковых сталей примерно на 20...30% выше шлифуемости аналогичных марок обычных быстрорежущих сталей [7; 29].

За счет повышенного содержания мелкодисперсных карбидов стойкость режущих инструментов из порошковых сталей в 1,2...2 раза выше, чем инструментов из стали, полученной традиционным методом переплава.

Быстрорежущая сталь поставляется в инструментальное производство в виде прутков круглого сечения, полос прямоугольного и квадратного сечения, заготовок различных форм и размеров. Заготовки быстрорежущей стали изготавливают ковкой, горячей прокаткой или холодным волочением с последующим шлифованием (так называемая сталь-серебрянка). Технические требования к качеству быстрорежущей стали, полученной традиционным методом литья, регламентируются ГОСТ 19265-79 (в редакции 1991 г.) и ТУ 14-1-3714, а изготовленной методом порошковой металлургии – по ГОСТ 28393-89.

Согласно ГОСТ 2590-2006 горячекатаная круглая сталь диаметром от 5 до 270 мм выпускается особо высокой – А01, высокой – А1, А2, А3, повышенной В1 и обычной В1, В2, В3, В4, В5 точности (табл. 2.5).

Таблица 2.5

Сталь горячекатаная круглая (ГОСТ 2590-2006)

Номинальные диаметры, мм		Точность прокатки		
		А1	В1	В1
Интервал через один мм	5,0...9,0	+0,1 -0,2	+0,1	+0,3
	10...19	+0,1 -0,3	-0,5	-0,5
	20...25	+0,1 -0,4	+0,2 -0,5	+0,4 -0,5
	26...28	+0,1 -0,5	+0,2 -0,7	+0,3
	29...30			-0,7
	31...48	+0,1 -0,5	-0,7	+0,4 -0,7
50, 52, 53, 54, 55, 56, 58		+0,1 -0,7	+0,2 -1,0	+0,4 -1,0
60, 62, 63, 65, 67, 68, 70, 72, 73, 75, 78		+0,1 -0,9	+0,3 -1,1	+0,5 -1,1
80, 82, 85, 87, 90, 92, 95, 97		+0,3 -1,1	+0,3 -1,3	+0,5 -1,3
Интервал через каждые 5 мм	100...115		+0,4 -1,7	+0,6 -1,7
	120...155		+0,6 -2,0	+0,8 -2,0
	160...200			+0,9 -2,5
Интервал через каждые 10 мм	210...250			+1,2 -3,0
	260, 270			+2,0 -4,0

Современные производители быстрорежущей стали стремятся обеспечить возможно более высокое качество поверхности заготовки, обеспечивающее в итоге снижение затрат на изготовление инструмента. В табл. 2.6, 2.7 приведены некоторые технические требования к прокату из быстрорежущей стали по данным французской фирмы ERASTEEL. Наименьшую точность имеют прутки, полученные методом горячего проката (табл. 2.6). Для сравнения: глубина обезуглероженного слоя согласно ГОСТ 19265-73 не должна превышать  $0,5 \text{ мм} + 1\%$ .

Более высокие параметры точности размеров и качество структуры металла имеют прутки быстрорежущей стали, полученные методом холодной обработки (табл. 2.6), а также прутки, прошедшие специальную отделку поверхности путем шлифования, так называемая сталь-серебрянка (табл. 2.7).

Таблица 2.6

Сталь калиброванная круглая холоднотянутая

Диаметр, мм	Квалитет IT	Индекс поля допуска	Шероховатость $Ra$ , мкм	Величина обезуглероженного на сторону слоя, мм
От 1,0 до 10,0	9	h	2,5	0,05
Свыше 10 до 16	9	k	2,5	0,05
Свыше 16 до 24,4	10	k	2,5	0,08

Прямолинейность прутков стали должна быть не хуже  $1,0 \text{ мм/м}$  длины.

Таблица 2.7

Сталь круглая со специальной отделкой поверхности

Диаметр	Квалитет IT	Шероховатость $Ra$ , мкм
От 2,0 до 10	8–9	1,25
Свыше 10 до 24,0	9	1,25

Основные технические требования к быстрорежущей стали сводятся к следующему. Твердость металла в состоянии поставки должна составлять от НВ 255 (P6M5) до НВ 285 (P10M4K10Ф3). Прутки должны быть прямыми, без заметной винтообразности. На наружной поверхности не должно быть раскатанных и раскованных пузырей, трещин и других пороков. На наружной поверхности шлифованной стали (серебрянки) не допускается никаких дефектов. Сталь не должна иметь в сво-

ей структуре строчечно расположенных карбидов (рис. 2.2), особенно крупных их скоплений (ликваций). Эти дефекты способствуют возникновению трещин при закалке. Такая сталь недопустима для изготовления резьбового и сложнопровильного инструмента.



Рис. 2.1. Карбидная неоднородность (1 балл) стали S390PM,  $\times 100$

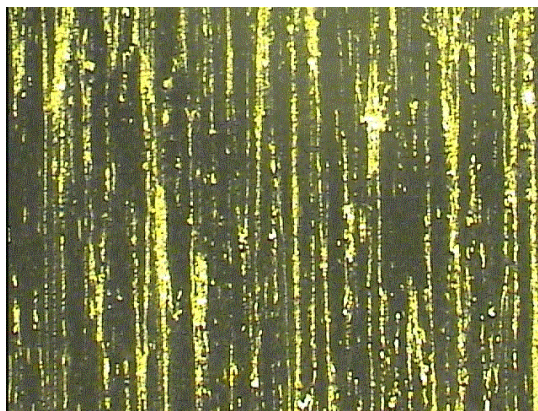


Рис. 2.2. Карбидная неоднородность (6 балл) стали P6M5Ф3-Ш,  $\times 100$

Предельно допустимая глубина обезуглероженного слоя в изломе прутков горячекатаной и кованой стали не должна превышать  $0,5 \text{ мм} + 1\%$  величины диаметра. Глубина обезуглероженного слоя полосовой стали измеряется на широкой стороне полосы. На прут-

ках шлифованной стали (серебрянки) обезуглероженный слой не допускается.

Карбидная неоднородность горячекатаной быстрорежущей стали должна соответствовать нормам, зависящим от размера заготовки (табл. 2.8).

Таблица 2.8

Карбидная неоднородность горячекатаной быстрорежущей стали

Диаметр круга или сторона квадрата, мм	Оценка в баллах для I и II групп качества по ГОСТ 19265-79	
	I	II
До 20	1	2
Свыше 20 до 40	2	3
Свыше 40 до 60	3	4
Свыше 60 до 80	4	5
Свыше 80 до 100	5	6
Свыше 100 до 150	6	7

Балл карбидной неоднородности характеризует степень измельчения и равномерность распределения карбидов в объеме металла. Согласно ГОСТ 19265-73 карбидная неоднородность оценивается в баллах. Для сравнения: на рис. 2.1 и 2.2 показаны микроструктуры быстрорежущих сталей с баллом карбидной неоднородности № 1 и № 6. Балл № 1 соответствует наиболее равномерному расположению мелких карбидов. Балл № 10, наоборот, соответствует наиболее неравномерному строчечному распределению относительно крупных карбидов в стали. При изготовлении режущего инструмента со сложным мелкогабаритным профилем рекомендуется сталь только с 1...3 баллами карбидной неоднородности. Фрезы угловые, прорезные, концевые, фасонные резцы, зенкеры, развертки и др. изготавливают из стали с баллом до 4 включительно. Сталь с баллом карбидной неоднородности 5 и 6 идет на изготовление относительно простого крупногабаритного инструмента, например резцов. Сталь с карбидной структурой свыше 6 балла для изготовления инструмента не применяется и должна проходить предварительную обработку пластическим деформированием – ковкой или штамповкой.

### 2.3. Твердые сплавы

Современная тенденция развития машиностроения предусматривает опережающий объем выпуска инструментов из твердого сплава по сравнению с инструментами из быстрорежущих сталей. Режущий инструмент, изготовленный из твердых сплавов, позволяет производить обработку деталей с более высокой скоростью резания по сравнению с аналогичным инструментом из быстрорежущей стали.

Металлокерамические твердые сплавы – продукт технологии порошковой металлургии, содержат карбиды тугоплавких металлов с кобальтом. Порошки карбидов смешивают с порошком кобальта, затем в смесь порошков добавляют клеящее вещество (пластификатор), сушат, готовят навеску под необходимый объем заготовки, помещают её в пресс-форму и наконец прессуют до получения требуемой формы. После этого спрессованные полуфабрикаты проходят спекание в две стадии. Сначала, с помощью предварительного спекания, при температуре 700...800° С удаляют пластификатор. После окончательного спекания при нагреве до 1350...1500° С твердый сплав получает присущие ему физико-механические свойства.

Недостатком этого технологического процесса является то, что полученные изделия могут иметь только относительно простую форму в виде пластин, цилиндров, таблеток и т. д. Изготовить заготовки для монолитного твердосплавного инструмента сложной формы, например для червячной фрезы с зубьями и стружечными канавками, технически невыполнимо из-за необходимости применения пресс-форм максимально простой конструкции.

Технологический маршрут изготовления заготовок сложной формы выполняется в следующей последовательности [15].

Смесь порошков карбидов металлов и кобальта прессуется в заготовки с технологически возможным приближением к форме и размерам будущего инструмента, после чего производится предварительное спекание при температуре 900...1000° С и обработка полуспеченных заготовок на предварительной шлифовальной операции электрокорундовыми кругами. Затем, в результате окончательного спекания в электропечах с восстановительной атмосферой при температуре 1340...1500° С, твердый сплав получает окончательные физико-механические свойства.

В зависимости от химического состава твердые сплавы подразделяются на три группы:

- 1) однокарбидные, содержащие карбид вольфрама и кобальт (ВК);
- 2) двухкарбидные, содержащие карбиды вольфрама, титана и кобальт (ТК);
- 3) трехкарбидные, содержащие карбид вольфрама, титана, тантала и кобальт (ТТК).

Маркировка, кроме букв, содержит цифры, указывающие на процентное содержание каждого из компонентов. Содержание карбида вольфрама в маркировке не указывается. Маркировка может указывать на размер зерен карбидов металла: К, КС, С – особо крупная зернистость, В – крупная, М – мелкая, ОМ – особо мелкая зернистость. Среднезернистый твердый сплав не имеет обозначения зернистости.

Маркировка твердых сплавов большинства фирм-производителей в основном базируется на системе маркировки ISO. Согласно классификации ISO, все разнообразие металлов, применяемых в машиностроении, разделено на три основные группы: *Р*, *М* и *К*.

Группа *Р* включает сталь, стальное литье, ковкий чугун, образующие в основном сливную стружку. Удельная сила резания материалов этой группы находится в пределах 1700...2500 Н/мм<sup>2</sup>. В группу *М* входят коррозионностойкие стали с аустенитной структурой, жаропрочные и титановые сплавы. Удельная сила резания материалов этой группы 2000...3200 Н/мм<sup>2</sup>. Группа *К* включает чугун, закаленные стали, ковкий чугун, образующий стружку скалывания, цветные металлы и пластмассы. Удельная сила резания для материалов этой группы составляет 1000...1500 Н/мм<sup>2</sup>.

В табл. 2.9 показано соответствие маркировки отечественных твердых сплавов соответствующим обозначениям стандартных марок зарубежных производителей, установленным классификацией Международной организации стандартизации (ISO).

Классификация ISO создана для выбора марок твердых сплавов исходя из конкретного их применения. В каждой группе марки твердых сплавов обозначаются двухзначными числами в порядке повышения их прочности, снижения твердости, износостойкости и допустимой скорости резания. Так, например, группа *К* делится на группы применения К01-К50, где К01 наименее прочная, но самая твердая, а группа К50 – самая прочная и наименее износостойкая.



Таблица 2.9

Соответствие маркировок основных отечественных марок твердых сплавов с некоторыми зарубежными обозначениями

Маркировка						Обрабатываемый материал
ISO	ГОСТ 3882-74	Сандвик-МКТС (Россия)	SANDVIK (Швеция)	KORLOY (Корея)	MITSUBISHI Carbide (Япония)	
P01	T30K4		S1P	ST05		Обработка материалов, дающих сливную стружку
P10	T15K6	MP1	S10	ST10	STi10T	
P20	T14K8	MP2	SMA	ST20	STi20	
P25	TT20K9	MP3	S30	ST30		
P30	T5K10; TT10K8-Б					
P40	T5K12; TT7K2	MP4	S6 R4			
M03	BK6-М					Обработка материалов, дающих стружку сливную и скалывания
M05	BK6-ОМ					
M10	TT8K6	TK15	S1P	U10		
M20	BK10K8-Б	TK20	H13A	U20	UTi20T	
M30	TT10K8-Б; BK10-ОМ		H10F		UTi20T	
M40	TT7K12; BK10-ОМ	MP4	R4	U40		
K01	BK3-М		H1P	H02	HTi05T	Обработка материалов, дающих стружку скалывания (в основном чугуна)
K02	BK3					
K05	BK6-ОМ					
K10	TT8K6; BK6M	TK20	H10A	H01	HTi10	
K20	BK6; BK4	TK20	WH20	G10; G2	HTi20N	
K30	BK8; BK4	TK25		G3		
K40	BK8; BK15					

С увеличением в составе твердых сплавов содержания кобальта, выполняющего роль связки, их твердость уменьшается, однако увеличиваются предел прочности при изгибе и ударная вязкость (табл. 2.10).

На твердость и прочность твердых сплавов влияет также размер зерен карбидов. С уменьшением размера зерен возрастают твердость и прочность твердого сплава на сжатие. Снижение размера зерен поз-

воляет получать более острую кромку режущего инструмента с меньшим радиусом округления и повышенной стойкостью к выкрашиванию. Принята следующая классификация сплавов WC-Co: сплавы особо крупной зернистости имеют зерно 8...15 мкм, крупнозернистые – 4...6 мкм, среднезернистые – 2...3 мкм, сплавы с субмикронной структурой – 0,6...1,5 мкм, ультрадисперсные – 0,2...0,5 мкм, нанофазные – менее 0,2 мкм [15].

Таблица 2.10

Химический состав и основные физико-механические свойства твердых сплавов

Марка	Химический состав				Предел прочности при изгибе, МПа	Предел прочности на сжатие, МПа	Твердость НРА (не менее)
	Карбид вольфрама	Карбид титана	Карбид тантала	Кобальт			
ВК2	98	–	–	2	1100	4000	90
ВК4	96	–	–	4	1350	4400	89,5
ВК6-В	94	–	–	6	1660	3680	87,5
ВК6	94	–	–	6	1450	4600	88,5
ВК6-М	94	–	–	6	1421	4910	90,0
ВК6-ОМ	94	–	–	6	1270		90,5
ВК8	92	–	–	8	1600	4470	87,5
ВК10	90	–	–	10	1600	4870	
Т30К4	66	30	–	4	900		92
Т15К6	79	15	–	6	1150	3900	90
Т14К8	78	14	–	8	1250	4200	89,5
Т5К10	85	6	–	9	1350	4600	88,5
ТТ7К12	81	4	3	12	1600		87
ТТ10К8	82	3	7	8	1400		89

В настоящее время существенную долю твердых сплавов, выпускаемых ведущими зарубежными фирмами, составляют сплавы с размером зерна 0,8...1,3 мкм. К примеру, в 2000 году в мире выпущено 30 тыс. тонн твердого сплава (исключая Китай), из них 12 тыс. тонн – с субмикронной структурой [15].

Твердый сплав нанофазной зернистости начали производить с помощью современных нанотехнологий. Свойства таких твердых сплавов существенно превосходят аналогичные свойства твердых сплавов

обычной зернистости. Это обусловлено тем, что уменьшение размеров кристаллов ниже некоторой пороговой величины может качественно изменить физико-механические свойства материала. Такие эффекты проявляются при среднем размере кристаллов менее 100 нм ( $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ).

### *Эксплуатационные свойства некоторых твердых сплавов*

**ВК2** – при весьма высокой износостойкости и наиболее высокой (из однокарбидных) допустимой скорости резания обладает умеренными прочностью, сопротивляемостью ударным нагрузкам и выкрашиванию.

**ВК4** – характеризуется высокой износостойкостью и прочностью, сопротивляемостью ударным нагрузкам и выкрашиванию. Его эксплуатационная стойкость в 1,5...2,5 раза выше, чем у сплава ВК6, и в 2...4 раза выше, чем у сплава ВК8.

**ВК6** – износостойкость и допустимая скорость резания этим сплавом меньше, чем у сплавов ВК2 и ВК4, при более высокой прочности, сопротивляемости ударным нагрузкам и выкрашиванию.

**ВК8** – износостойкость, прочность и сопротивляемость ударным нагрузкам ниже, чем у сплава ВК6.

**ВК10** – при более высоких эксплуатационной прочности и сопротивляемости ударным нагрузкам, чем у сплава ВК8, обладает меньшей износостойкостью.

**Т30К4** – обладает наивысшей для титановольфрамowych сплавов износостойкостью и допустимой скоростью резания, но пониженной сопротивляемостью ударным нагрузкам.

**Т15К6** – характеризуется относительно высокой износостойкостью и допустимой скоростью резания, хотя они ниже, чем для сплава Т30К4. Обладает большей прочностью и сопротивляемостью ударным нагрузкам и выкрашиванию по сравнению со сплавом Т30К4.

**Т5К10** – имеет более высокие эксплуатационную прочность и сопротивляемость ударным нагрузкам, чем Т15К6, но меньшие износостойкость и допустимую скорость резания.

**ТТ7К12** – обладает большей, чем у сплава Т5К10, эксплуатационной прочностью и сопротивляемостью ударным нагрузкам и выкрашиванию при меньшей износостойкости и допустимой скорости резания.

В целом сплавы группы ВК по сравнению со сплавами группы ТК имеют большие ударную вязкость и теплопроводность, поэтому они способны выдерживать большие ударные нагрузки и менее склонны к образованию трещин в процессе пайки пластин, при шлифовании

и заточке инструмента. Сплавы группы ТК уступают сплавам ВК по прочности, превосходят их по теплостойкости и износостойкости, однако более чувствительны к циклическим механическим и особенно тепловым нагрузкам. Сплавы группы ТТК обладают преимуществами сплавов группы ТК, но менее чувствительны к перепадам температуры и лучше сопротивляются трещинообразованию.

Для твердых сплавов большое значение имеет чувствительность к режиму нагрева и охлаждения при пайке пластин к корпусу инструмента, при шлифовании и заточке инструмента. Так как коэффициенты линейного расширения твердого сплава и стали, из которой изготавливается корпус режущего инструмента, существенно различаются, то в процессе пайки (нагрева до высокой температуры и охлаждения) в пластинах твердого сплава возникают значительные внутренние напряжения, которые могут привести к образованию в них трещин и хрупкому разрушению.

Для чистовых операций лезвийной обработки широкое применение нашли **минералокерамические твердые материалы** на основе оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ) с добавлением карбидов тугоплавких металлов. Материал получают путем спекания мелкозернистой (до 5 мкм) окиси алюминия. Отличительными свойствами минералокерамических пластин являются высокая твердость, достаточно высокий предел прочности на сжатие и малая теплопроводность. Недостаток минералокерамики – высокая хрупкость и плохая сопротивляемость циклическим изменениям тепловой нагрузки.

Минералокерамика дает возможность повысить скорость резания при обработке сталей и чугунов до 300...600 м/мин, а в отдельных случаях до 1100 м/мин. Однако высокая хрупкость керамических инструментальных материалов ограничивает их практическое применение. Тем не менее, по данным [15], доля применения минералокерамики, среди инструментальных материалов составляющая не более 5%, наиболее высока в аэрокосмической промышленности.

Производители инструментальной керамики в последние годы начали изготавливать, наряду с традиционным монофазным материалом на основе  $Al_2O_3$  (ЦМ332, ВО13 и др.), композиционные инструментальные материалы. Повышение их прочности и вязкости обеспечивается за счет создания композиций, состоящих из матрицы на основе мелкозернистых материалов  $Al_2O_3$  с добавками  $ZrO_2$ , TiC, TiN и др. и арматуры из частиц  $ZrO_2$  (табл. 2.11).

Основные физико-механические свойства инструментальных материалов

Материал (химический состав)	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Микротвердость, ГПа	Предел прочности		Модуль упругости, ГПа	Коэффициент тепло- проводности при 0°С, Вт/(м·К)	Коэффициент линейно- го расширения, К <sup>-1</sup> ·10 <sup>6</sup>	Температурный предел устойчивости, °С
			на сжатие, МПа	на изгиб, МПа				
Алмаз природный (С)	(3,01...3,56)·10 <sup>3</sup>	100	2000*	210...490	900	146,4	0,9...1,45	800
Алмаз синтетический (С)	(3,48...3,54)·10 <sup>3</sup>	84...98,1	2000*	300	740...1000		0,9...1,8	700
Кубический нитрид бора (BN)	(3,44...3,49)·10 <sup>3</sup>	80...90	500*		720	40...60	2,1...4,0	1200...1300
Карбид кремния (SiC)	(3,12...3,20)·10 <sup>3</sup>	30,0...33,0	1500	50...150	365	15,5	6,5	1400
Электрокорунд (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	(2,00...2,10)·10 <sup>3</sup>	20,0...24,0	76	80...90		19,7	7,5	1800
Карбид титана (TiC)	4,93·10 <sup>3</sup>	32,0	3850	600...660	322	24,3	7,42	3140
Карбид вольфрама (WC)	15,6·10 <sup>3</sup>	17,0	3000	520...560	722	29,3	5,2...7,3	2600
Быстрорежущая закаленная сталь P18	(8,5...8,7)·10 <sup>3</sup>	13,0...14,0	3600	3700	220	24,3	11,0	650
Керамика на основе Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,9·10 <sup>3</sup>	23	3000...5000	350...600	380	6...10		1700
Керамика на основе ZrO <sub>2</sub>	5,7·10 <sup>3</sup>	11	190	500	210	4...7		1200

\*Зависит от марки СТМ и размера кристаллов.

## 2.4. Сверхтвердые инструментальные материалы

Основанием для включения инструментального материала в класс сверхтвердых материалов (СТМ) служит его высокая твердость. Принято [8] относить к классу СТМ материалы, микротвердость которых выше микротвердости природного корунда – оксида алюминия  $Al_2O_3$  (более 20,6 ГПа). Из природных материалов к этому классу относится алмаз. Среди искусственно созданных СТМ наиболее твердым является синтетический алмаз, затем по степени снижения твердости – кубический карбонитрид бора ( $BC_2N$ ), кубический нитрид бора (CBN), группа карбидов ( $B_4C$ ,  $SiC$ ,  $TiC$ ,  $ZrC$ ,  $VC$  и др.), боридов ( $B_4Si$ ,  $BP$ ,  $WB$ ,  $TiB_2$  и др.), нитридов ( $Si_3N_4$ ,  $TaN$ ,  $TiN$ ).

Весь инструмент из СТМ можно разделить на три основные группы:

- 1) кристалльный инструмент, изготавливаемый из монокристаллов природных алмазов и поликристаллов различных модификаций нитрида бора, синтетических алмазов и других СТМ;
- 2) шлифовальный инструмент, изготавливаемый из синтетических алмазов и кубического нитрида бора (эльбора);
- 3) пасты и суспензии из СТМ.

Наибольшей твердостью из всех известных в природе материалов обладает алмаз. Алмаз имеет относительно большой коэффициент теплопроводности и весьма низкий коэффициент трения по металлам. Он имеет повышенную хрупкость и низкий предел прочности при изгибе. Основной недостаток алмаза – относительно низкая теплостойкость, всего около  $800^\circ C$  у природных алмазов и  $700^\circ C$  – у синтетических. Кроме того, при высоких температурах алмаз химически активен в контакте с железоуглеродистыми сплавами. Это не позволяет эффективно использовать алмазные инструменты при обработке стальных заготовок. Незначительно уступая алмазу по твердости, кубический нитрид бора (КНБ) превосходит его по теплостойкости и стойкости к циклическому изменению температур. Он химически инертен к железоуглеродистым сплавам, что дает возможность его высокоэффективного использования при обработке различных сталей.

Из монокристаллов природного алмаза изготавливают правящие инструменты, резцы, наконечники для контрольно-измерительных приборов. При необходимости кристаллы массой от 0,1 до 2,0 и более карат подвергают обработке для получения точной геометрической формы рабочей поверхности алмаза. Наиболее широкое применение

в производстве имеют порошковые синтетические алмазы и КНБ, из которых изготавливают шлифовальный инструмент.

Качественно иная группа инструментальных материалов – поликристаллические сверхтвердые материалы (ПСТМ) на основе алмаза, кубического нитрида бора и других СТМ.

ПСТМ на основе синтетических алмазов можно условно разделить на четыре группы.

1. Получаемые спеканием мелкозернистые алмазные порошки в чистом виде или после специальной обработки, имеющие однофазную структуру.

2. Поликристаллы типа СВ, представляющие собой гетерогенный композит, состоящий из зерен алмаза, скрепленных связкой. Прочность композита составляет до 5 ГПа, микротвердость – 12...80 ГПа.

3. Алмазы синтетические поликристаллические (АСПК) типа «карбонадо». Их получают путем воздействия на углеродосодержащее вещество с катализатором одновременно высокой температурой и давлением. Плотность таких поликристаллов изменяется в широких пределах, а содержание примесей составляет от 2 до 20%, поэтому АСПК уступают по твердости и прочности поликристаллам первых двух групп.

4. Поликристаллы алмаза, получаемые пропиткой алмазного порошка металлической связкой при высоких давлениях и температурах. В качестве связки используют никель, хром, кобальт, железо и др. Поликристаллы, полученные по такой технологии, имеют относительно высокие механические свойства. Прочность на сжатие составляет 4,5...5,5 ГПа.

ПСТМ на основе кубического нитрида бора также можно разделить на несколько групп.

1. Поликристаллы, состоящие из мелкодисперсных частиц КНБ, соединенных металлической связкой. Представителем этой разновидности ПСТМ являются пластины типа «компакс», представляющие собой слой износостойкого материала толщиной около миллиметра, прочно связанный с подложкой из твердого сплава.

2. Поликристаллы, синтезированные из гексагонального графитоподобного нитрида бора в присутствии каталитических добавок. Существует целая гамма материалов на основе поликристаллического нитрида бора (ПКНБ). Наиболее известен композит «Эльбор-Р» («Композит-01»), который имеет микротвердость 70...80 ГПа, предел прочности на сжатие 1,9...2,1 ГПа, теплостойкость 1100...1200° С.

3. Поликристаллы, получаемые прямым синтезом без катализаторов. Материал называют «Композит-02» («Белбор»). Микротвердость его составляет 60...90 ГПа, предел прочности на сжатие 4...6,5 Па, теплостойкость 1000...1100° С. Рекомендуется для использования при непрерывном точении.

4. Композиционные СТМ, приготовленные спеканием порошка КНБ в смеси с добавками алмаза, окислов, карбидов и других тугоплавких соединений. Выпускаются под маркой «Композит-05». Рекомендуются для безударной лезвийной обработки.

5. СТМ, состоящие из нескольких модификаций, в том числе вюртцитоподобного нитрида бора без использования добавок. Типичным представителем этой разновидности является «Гексанит-Р» («Композит-10»). Его микротвердость составляет 50...80 ГПа, а прочность на сжатие 3...5 ГПа. Применяется для предварительного и чистового точения, в том числе с ударными нагрузками.

Из поликристаллов изготавливают заготовки в виде стержней, столбиков, таблеток, пластин для оснащения резцов, фрез и другого режущего инструмента. Наиболее широкое применение получили ПСТМ в виде пластин различной формы с размерами, принятыми в международных стандартах. Сменные пластины круглой, квадратной, ромбической, сегментной и треугольной формы могут применяться в сборных инструментах: резцах, долбяках, сборных червячных и других фрезах и т. д.

Пластины для неразъемных соединений с корпусом инструмента выполняют в двух исполнениях: цельные без подложки и комбинированные с подложкой. Во втором случае слой ПСТМ толщиной до 1 мм располагают на твердосплавной пластине. Это облегчает пайку пластины на корпусе инструмента из-за лучшей смачиваемости твердого сплава припоем по сравнению с ПСТМ.

В табл. 2.11 приведены сравнительные сведения о физико-механических свойствах основных инструментальных материалов [8; 15].

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какие основные требования предъявляют к инструментальным материалам?
2. Назовите основные группы инструментальных материалов.
3. В каком виде поставляются инструментальные материалы в инструментальный цех?



4. Какие технические требования предъявляются к заготовкам из быстрорежущих сталей и твердых сплавов?
5. Как химсостав быстрорежущих сталей влияет на их механические и технологические свойства?
6. Как подразделяется прутковая сталь в зависимости от способа изготовления на металлургическом заводе?
7. С какой целью определяют балл карбидной неоднородности в заготовках из быстрорежущей стали?
8. Какими свойствами обладают сверхтвердые материалы?
9. Как химсостав и размер зерен твердых сплавов влияют на их механические и технологические свойства?
10. Назовите два основных искусственных сверхтвердых материала, применяемых в металлообработке. Каковы их свойства?
11. Какие легирующие элементы в быстрорежущей стали резко ухудшают ее шлифуемость, но повышают износостойкость изготовленного инструмента?

## Глава 3. ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ

### 3.1. Основные методы получения заготовок

Выбор метода получения заготовки и проектирование ее конструкции являются основой для разработки технологического процесса изготовления инструмента. В конечном счете технологичность изготовления и экономичность эксплуатации инструмента зависят от конструкции заготовки.

При выборе метода получения заготовки следует учитывать потери материала при ее обработке. В отличие от производства деталей машин изготовление инструментов предусматривает применение материалов, стоимость которых может быть на порядок выше, чем стоимость конструкционных углеродистых и низколегированных сталей.

Как уже отмечалось в разделе 1.2, инструментальное производство на машиностроительном предприятии чаще всего относится к мелкосерийному и среднесерийному типу. В отличие от массового и крупносерийного производства, когда заготовки делают максимально приближенными к форме изготавливаемой детали, при изготовлении инструмента не всегда технически и экономически целесообразно получать заготовки с минимально возможными припусками.

Таблица 3.1

Матрица преимущественного применения методов получения заготовок

Метод получения заготовки		Класс режущего инструмента			
		осевой	насадной	дисковый	плоский
Литье			+	+	+
Обработка давлением	свободная ковка		++	++	++
	штамповка	+	++	++	+
	прессование	++	++	+	++
Прокат	круглый	+++	+++	+++	+
	полосовой				+++
Порошковая металлургия		++	+	+	+

В табл. 3.1 приведены основные методы получения заготовок из инструментальных сталей для изготовления инструментов четырех классов, с указанием их преимущественного применения. Больше

число знаков (+) в табл. 3.1 характеризует приоритетность использования метода.

## 3.2. Изготовление заготовок из проката

### 3.2.1. Отрезка стальных заготовок

Прутки проката из инструментальной и конструкционной стали, поступающие в инструментальное производство, разрезают на заготовки конкретной длины на заготовительных участках с помощью специализированных станков.

Сначала для повышения прямолинейности прутки проходят правку на правильно-калибровочных станках. При правке пруток направляется между двумя принудительно вращающимися роликами с взаимно скрещающимися осями. Один ролик имеет вогнутую, а второй – выпуклую наружную поверхности. После такой правки кривизна прутков снижается до 0,5 мм на 1 м длины прутка.

Непосредственно нарезку мерных заготовок из прутков производят с помощью круглопильных, ленточно-отрезных, абразивно-отрезных станков и специальных токарных станков.

*Отрезные круглопильные станки* (рис. 3.1), оснащенные дисковыми сегментными пилами диаметром до 750 мм и толщиной до 10 мм, обеспечивают достаточно высокую ( $20...80 \text{ см}^2/\text{мин}$ ) производительность отрезки. Станки имеют относительно простую кинематическую схему, надежны в эксплуатации и применяются для резки конструкционных и быстрорежущих сталей. Основной недостаток такого способа отрезки – большая ширина реза, приводящая к непроизводительному расходу металла.

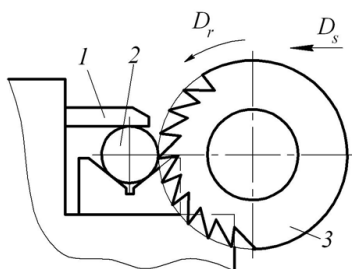


Рис. 3.1. Схема отрезки заготовок на круглопильном станке

*Ленточно-отрезные станки* (рис. 3.2) обладают более высокой, чем отрезные круглопильные станки, производительностью при малой (2...3 мм) ширине реза. Инструмент представляет собой бесконечную биметаллическую ленту шириной 13...80 мм и толщиной 0,6...1,6 мм, изготовленную из конструкционной стали, с режущими зубьями из быстрорежущей стали или твердого сплава. Ленточно-отрезные стан-

ки мод. МПГ-1857, МПГ-1899, 8532, 8544, 8545 и др. применяют для отрезки заготовок диаметром до 250 мм из конструкционной и инструментальной (в том числе быстрорежущей) стали. Точность получаемого размера соответствует 14...12 квалитетам, шероховатость поверхности среза  $Rz \geq 6,3$  мкм.

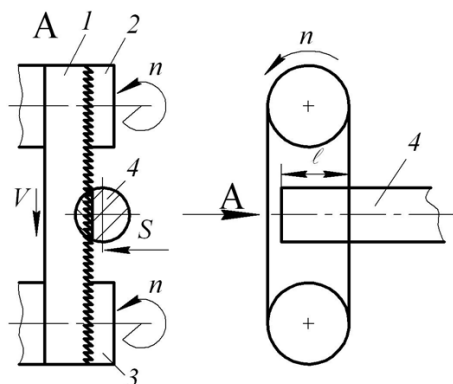


Рис. 3.2. Схема отрезки заготовок на ленточно-отрезном станке:  
1 — бесконечное ножовочное полотно; 2, 3 — механизм привода;  
4 — заготовка;  $l$  — длина отрезаемой заготовки

*Абразивно-отрезные станки* обеспечивают производительную отрезку заготовок диаметром до 150 мм из материалов любой твердости. Отрезка производится специальными отрезными кругами диаметром до 400 мм и толщиной 3...4 мм на бакелитовой связке, армированными стекловолокном, со скоростью резания до 80...100 м/с. Типичные модели абразивно-отрезных станков: 8220, 8230, 8240, МФ-332, МФ-362, МСТ 35-5. Преимуществом этого способа отрезки является получение относительно точного размера заготовки, а недостатком — наличие высоких температур при отрезке и, как следствие, формирование дефектного поверхностного слоя на обработанных торцах заготовки. Точность размеров полученных торцов — 15...12 квалитеты, средняя шероховатость  $Ra = 6,3...3,2$  мкм.

*Отрезка на специальных токарных станках.* Вертикальные или горизонтальные токарно-отрезные станки полуавтоматы и автоматы могут производить отрезку заготовок диаметром до 120 и до 40...50 мм соответственно. При этом возможна отрезка одновременно двумя

резцами с подачей навстречу друг другу, что вдвое повышает производительность операции. Существует возможность вместе с отрезкой обрабатывать торцы заготовок, образуя наружные центры. Недостатком токарной отрезки является сравнительно большой отход металла в стружку и необходимость удалять остающиеся на торцах бобышки, так как они мешают центrovанию и сварке заготовок. Шероховатость торцевой поверхности отрезанной заготовки составляет  $Rz \geq 80$  мкм, а точность соответствует 17...14 квалитетам.

### 3.2.2. Сварка заготовок

С целью экономии быстрорежущей стали осевые инструменты (сверла, зенкеры, развертки, метчики, концевые фрезы, протяжки и др.) изготавливают составными из нарезанных из проката заготовок. Такими делают, например, сверла с цилиндрическим хвостовиком диаметром свыше 12 мм и с коническим хвостовиком диаметром свыше 5 мм.

Рабочая часть составных инструментов изготавливается из быстрорежущих, а хвостовая — из конструкционных сталей. Соединение заготовки рабочей части с заготовкой хвостовой части осуществляется сваркой. В инструментальном производстве применяют два метода сварки: контактную стыковую сварку и сварку трением.

Принцип *контактной стыковой сварки* основан на выделении тепловой энергии в контакте двух свариваемых заготовок, оказывающих электрическое сопротивление прохождению электрического тока.

Согласно закону Джоуля-Ленца, общее количество теплоты (Дж), выделяющееся в электрическом проводнике, равно

$$Q_{\tau} = I^2 R t, \quad (3.1)$$

где  $R$  — электрическое сопротивление, Ом;  $I$  — ток, А;  $t$  — время, с.

Как видно из (3.1), регулировать процесс тепловыделения можно за счет изменения силы тока, времени сварки и сопротивления электрической цепи. Сопротивление сварочной цепи определяется суммой сопротивлений ее участков:

$$R = R_{\text{м}} + R_{\text{к}} + R_{\text{з}}, \quad (3.2)$$

где  $R_{\text{м}}$  — сопротивление нагреваемых участков заготовок;  $R_{\text{к}}$  — сопротивление контакта между свариваемыми заготовками;  $R_{\text{з}}$  — сопротивление контакта между электродами и заготовкой.

Теплота, выделяющаяся в контакте между электродами и заготовкой, приводит к подгоранию металла и ускорению износа электродов.

Для снижения сопротивления на этом участке цепи электроды изготавливают медными, поэтому  $R_3$  много меньше двух других составляющих  $R$  и мало влияет на величину суммарного сопротивления.

Наибольшее сопротивление, а следовательно, и максимальное выделение теплоты возникает в месте контакта свариваемых заготовок. Поверхности стыковых торцов имеют микронеровности, поэтому при сжатии заготовок действительный контакт происходит не по номинальной площади торцов, а лишь по вершинам этих микронеровностей. Сопротивление  $R_k$  уменьшается по мере нагревания заготовок из-за пластических деформаций микронеровностей. Сопротивление  $R_m$ , наоборот, с повышением температуры возрастает из-за роста удельного сопротивления металла. Так как значения  $R_m$  и  $R_k$  при повышении температуры изменяются в противоположных направлениях, общее сопротивление цепи остается практически неизменным, поэтому процессом сварки можно управлять либо за счет регулирования тока  $I$ , либо за счет времени сварки  $t$ . Из (3.1) видно, что экономически целесообразно управлять процессом за счет изменения  $I$ . Чем больше сварочный ток, тем меньше время нагрева, тем меньше рассеяние теплоты в окружающую среду и ниже уровень выброса экологически опасных аэрозолей.

Стыковая сварка имеет две основные разновидности: без оплавления (сварка сопротивлением) и с оплавлением. В инструментальном производстве чаще применяют сварку с оплавлением. После включения напряжения питающей сети закрепленные заготовки приводят в кратковременное соприкосновение и снова разводят. Периодическое замыкание и размыкание контакта вызывает оплавление всей площади контакта заготовок. По достижении оплавления производят быструю осадку, т. е. прижимают заготовки друг к другу и выключают ток. При значительном осевом сжатии заготовки укорачиваются, а расплавленный металл после остывания образует сварной шов и наплыв на цилиндрической поверхности заготовки, так называемый грат.

Стыковая контактная сварка производится на специальных сварочных машинах, в том числе работающих в автоматическом режиме. Технические характеристики типовых моделей приведены в табл. 3.2.

Сварочные машины имеют механическую и электрическую части. Электрическая часть состоит из трансформатора, прерывателя тока и регулятора. Трансформатор с первичной обмоткой рассчитан на напряжение питающей сети 220 или 380 В. Вторичное напряжение относительно невелико и не превышает 12 В. Как правило, трансфор-

маторы рассчитаны на ток короткого замыкания до 100000 А. Прерыватели тока рассчитаны на 5...6 включений в минуту (могут быть и до 100 включений в минуту) при токе до 500 А.

Таблица 3.2

Техническая характеристика машин для стыковой сварки

Параметр	Модель машины			
	МС-50-1	МС-2008	СИ-111	СИ-086
Диаметр заготовки, мм	28	50	60	32
Длина заготовки, мм			100...1000	100...400
Мощность трансформатора, кВт	50	150	150	100
Наибольшее усилие осадки, мН	30	65	145	54
Наибольшее усилие сжатия, мН			100	30
Производительность, шт./час	180	80	55	80

Принцип работы сварочных машин показан на рис. 3.3. Соединительные элементы вторичного контура подводят ток от зажимов

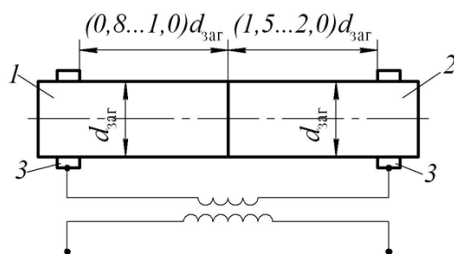


Рис. 3.3. Схема контактной сварки

вторичной обмотки трансформатора к электродам 3 контактной машины, которые подводят ток к заготовкам 1 и 2. Материал электродов 3 изготавливается из меди или из медно-вольфрамового сплава. При сварке они охлаждаются проточной водой.

Наиболее важной механической частью машины является устройство для передачи осевого усилия, то есть для осаживания заготовок. На современных машинах осаживание производится с помощью механизированного привода в автоматическом режиме.

Второй распространенный метод соединения заготовок – *сварка трением*. Особенность этого процесса сварки заключается в нагреве торцов заготовок трением до температуры, необходимой для создания неразъемного соединения.

Одна из свариваемых заготовок неподвижно закрепляется в зажимном приспособлении, а вторая, находящаяся с ней соосно, вращается с частотой 500...1500 об/мин (рис. 3.4). Торцы заготовок 1, 2 одинакового диаметра прижимают друг к другу с осевой силой  $P$ . Трение, возникающее на торцах, вызывает интенсивный их разогрев до

сварочной температуры. В момент достижения этой температуры вращение заготовки *1* прекращают, и под действием силы *P* происходит осадка и сварка заготовок.

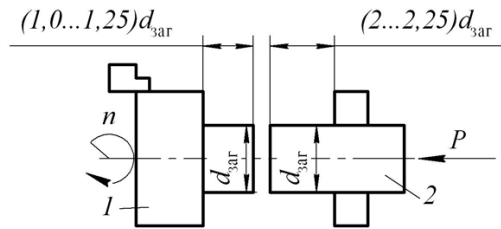


Рис. 3.4. Схема сварки трением

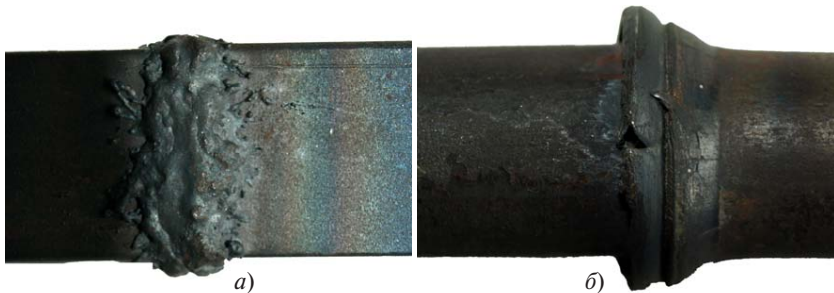


Рис. 3.5. Сварной шов после стыковой сварки (*а*) и сварки трением (*б*)

На рис. 3.5 приведены фотографии сварочного шва после электроконтактной сварки и сварки трением. Обращает на себя внимание различное формирование поверхности грата. В отличие от грата после электроконтактной сварки (рис. 3.5,*а*), шов после сварки трением носит следы вращательного движения заготовок (рис. 3.5,*б*). Машинное время сварки трением в зависимости от условий процесса и вида заготовок составляет всего 2...5 с.

Сварка трением по сравнению со стыковой сваркой обеспечивает большую прочность и стабильное качество сварного шва, а также лучшие санитарно-гигиенические условия для персонала (установка может располагаться непосредственно на механическом участке). Однако сваркой трением можно соединить только круглые заготовки с относительно точно обработанными торцами одинакового диа-



метра. Машины для сварки трением имеют номинальную мощность 10...75 кВт для сварки заготовок диаметром 25...70 мм. Производительность операции достигает в среднем 70...150 изделий в час, а потребление электроэнергии в 7...10 раз меньше, чем при электродуговой сварке.

Основные характеристики машин для сварки трением приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Техническая характеристика машин для сварки трением

Параметр		Модель				
		МФ-346	МФ-341	МСТ-23-2	МСТ-41-3	МСТ-51-2
Диаметр заготовки, мм		6...15	16...35	10...25	24...40	32...60
Длина, мм	вращающейся заготовки	45	60...330	45...600	60...980	65...1200
	неподвижной заготовки	45	70...340	более 50	более 75	более 80
Частота вращения, мин <sup>-1</sup>		2000	1000			
Осевое усилие, МН	при подогриве	15	300	25	200	400
	при осадке	30	300	50	200	400
Мощность, кВт		4	20	10	40	75

После сварки заготовки помещают в печь, предварительно нагретую до температуры  $500 \pm 30^\circ \text{C}$ , для проведения изотермического отжига. Отжиг выполняют для снятия внутренних напряжений и снижения твердости металла в зоне сварного шва. После заполнения печи заготовками их нагревают до температуры отжига  $850...870^\circ \text{C}$  и выдерживают около 3...4 часов. Затем следует постепенное охлаждение, как это предусмотрено изотермическим отжигом, до температуры  $730...750^\circ \text{C}$  с выдержкой и дальнейшим охлаждением заготовок в воздушной среде. После отжига контролируется твердость заготовок в зоне сварного шва. В случае повышенной твердости отжиг повторяется.

Грат перед механической обработкой заготовок удаляют на токарных или шлифовально-обдирочных станках. Современное станочное оборудование позволяет совместить в едином цикле три операции: стыковую сварку, снятие грата и правку сваренных заготовок. Например, станок фирмы G hring ER-227 в комбинации с автоматической или полуавтоматической сварочной машиной предназначен для шлифования грата на заготовках диаметром 10...80 мм непосредственно

после сварки. Управление единым автоматическим циклом выполняет один оператор. Средняя производительность обработки заготовок диаметром 40 мм достигает 130 шт./час.

При проектировании сварной заготовки необходимо учитывать, что:

- общая длина заготовки после сварки уменьшается по сравнению с размерами отдельных ее частей;
- расположение сварного шва не должно снижать технологичность обработки заготовки при ее обтачивании;
- площадь контакта сваренных частей заготовки должна обеспечивать наибольшую прочность инструмента по сварному шву.

С учетом этого и согласно СТП 37.101.0853-2002 сварной шов на сверлах должен быть расположен на участке между концом рабочей части (выходом стружечной канавки) и шейкой сверла (рис. 3.6).

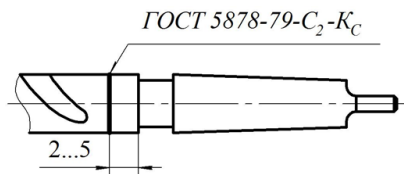


Рис. 3.6. Расположение сварного шва на сверлах и пример его обозначения

Перед сваркой заготовки проходят токарную обработку, обеспечивающую плоскостность и перпендикулярность их торцов относительно оси.

В табл. 3.4 приведены сведения, необходимые для конструирования сварной заготовки [12; 16].

Таблица 3.4

Припуски на оплавление и подрезку торцов заготовок при контактной сварке

Диаметр заготовки у сварного шва, мм	Припуски, мм							
	Конструкционная сталь				Быстрорежущая сталь			
	На угар и оплавление	На подрезку торцов		Общий	На угар и оплавление	На подрезку торцов		Общий
		До сварки	После сварки			До сварки	После сварки	
до 20	2	1	1	4	3	1	1	5
20...50	3	1	1	5	4	1	1	6
50...60	3	1,5	1,5	6	5	1	1	7
60...80	4	1,5	1,5	7	5	1,5	1,5	8
80...100	5	2,0	2,0	9	7	2,0	2,0	11

Длина свариваемых заготовок рассчитывается с учетом припуска на угар и оплавление, который колеблется в пределах 2...7 мм (табл. 3.4). Припуски на угар из-за различной электро- и теплопроводности у заготовок из конструкционной и быстрорежущей сталей различны. Если свариваемые заготовки имеют разные диаметры, то на заготовке большего размера  $d_1$  должна быть проточена шейка длиной  $l_3$  не менее 5 мм и диаметром  $d_3$ , равным диаметру  $d_2$  другой заготовки (рис. 3.7).

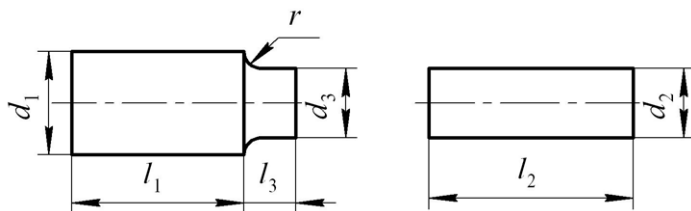


Рис. 3.7. Разделка заготовок под сварку

После сварки производится контроль сварных заготовок. Заготовки, имеющие непровар или трещины в зоне сварного шва, бракуются и направляются на повторную сварку. Контролируются также длина, прямолинейность и относительное смещение заготовок. Выборочно определяют механические свойства металла шва, проводят металлографический анализ его структуры, проверку на наличие трещин и шлаковые включения.

Выше отмечалось, что основным преимуществом сварных заготовок является экономия дефицитной и дорогостоящей быстрорежущей стали. Однако в последние годы ясно проявляется тенденция к увеличению выпуска монолитного инструмента. Это обусловлено, во-первых, его большей жесткостью по сравнению с напайным и сварным инструментами, а во-вторых, применением технологий нанесения износостойких покрытий или легирования поверхностного слоя инструмента. Нагрев инструмента со сварным швом при нанесении покрытия (легировании) может вызвать его деформацию, а следовательно, потерю точности при обработке. Инструмент с напайными режущими пластинами (см. ниже) может не выдержать нагрева из-за относительно низкой температуры плавления припоя.

### 3.3. Пайка заготовок

Пайка представляет собой процесс образования неразъемного соединения заготовок, находящихся в твердом состоянии, с помощью расплавленного присадочного материала – припоя, имеющего температуру плавления меньшую, чем температура плавления соединяемых металлов. При пайке происходит взаимная диффузия расплавленного припоя и соединяемых металлов, в результате чего образуется неразъемное соединение.

В инструментальном производстве операцию пайки применяют при изготовлении составного инструмента, оснащенного режущими пластинами из твердого сплава или сверхтвердых материалов (токарных и фасонных резцов, концевых и торцовых фрез, сверл, зенкеров, резьбовых гребенок и т. п.).

Для установки режущих пластин в заготовках корпусов инструментов предварительно фрезеруют специальные пазы. В зависимости от конструкции инструмента пазы выполняют открытыми (например, у токарных резцов, рис. 3.8,*а*), полуоткрытыми (в корпусах резцов, зенкеров и фрез, рис. 3.8,*б*) и закрытыми (в корпусах сверл, фрез, протяжек и др., рис. 3.8,*в*). Размеры и конфигурация пазов должны соответствовать размерам и конфигурации припаиваемых режущих пластин.

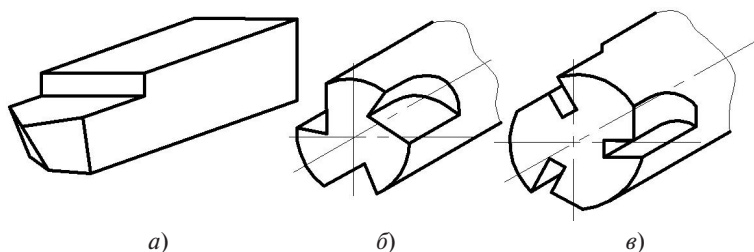


Рис. 3.8. Формы пазов в корпусах инструмента под режущие пластины твердого сплава: *а*) открытая, *б*) полуоткрытая; *в*) закрытая

В корпусе многолезвийного инструмента, имеющего закрытые пазы, должен быть обеспечен зазор 0,2...0,3 мм между пластиной и стенками паза.

Перед пайкой пластины твердого сплава проходят тщательную очистку от окисных пленок методами декапирования или окисления. Процесс декапирования заключается в погружении и выдержке пластин в ванне с расплавленными солями  $\text{NaNO}_2$  и  $\text{NaNO}_3$  при

температуре 350...370° С в течение 8...20 минут. После этого следует тщательная промывка пластин в горячей воде, просушка и обработка на дробеструйной установке. Очистка методом окисления проходит в аналогичной последовательности, только вместо обработки пластин в расплавленных солях их помещают в камерную печь, нагретую до 800° С, где происходит окисление их поверхности.

Шероховатость поверхности пазов под пайку не должна превышать  $Rz$  40 мкм. На кромках пазов не допускаются заусенцы и забоины.

Для растворения и удаления с поверхностей металла окислов и загрязнений и улучшения их смачиваемости припоем применяют специальные флюсы. Основой большинства флюсов для пайки инструмента является бура (тетраборат натрия  $Na_2B_4O_7$ ). Для усиления действия флюса в буру добавляют борную кислоту  $H_3BO_3$  и другие компоненты.

Перед пайкой производится сборка пластин в пазах корпуса. Если паз у однолезвийного инструмента открытый, то режущую пластину, припой и флюс укладывают в него свободно, без дополнительной фиксации и непосредственно перед пайкой. В полуоткрытом или закрытом пазу режущую пластину закрепляют заранее проволокой или специальными закрепами. Применяют также метод «приклеивания» пластин. Для этого флюс, разведенный в дистиллированной воде до пастообразного состояния, наносится на поверхность паза и пластин. Затем пластины фиксируются в требуемом положении.

Пайка производится с помощью индукционного нагрева токами высокой частоты (ТВЧ), основанного на поверхностном нагреве металлов вихревыми токами, создаваемыми переменным магнитным полем высокой частоты (40–1800 кГц). Нагрев инструмента производится с помощью индуктора, подключенного к генератору ТВЧ. В индукторе образуется магнитное поле, направление силовых линий которого меняется с высокой частотой. В результате этого в металлических деталях – корпусе и пластинах, помещенных в индуктор, наводится переменный электрический ток, разогревающий поверхностный слой деталей джоулевой теплотой. Современные установки ТВЧ имеют мощность от 2 до 40 кВт и работают в автоматическом или полуавтоматическом режиме.

Индукционная пайка обеспечивает:

- относительно быстрый регулируемый нагрев инструмента до требуемой температуры, что уменьшает опасность окисления спаиваемых поверхностей;

– возможность производить пайку режущих пластин на закаленный корпус, который из-за местного нагрева подвергается лишь незначительному отпуску.

Эффективность нагрева заготовок инструмента обеспечивается соответствующей конфигурацией и размерами индуктора.

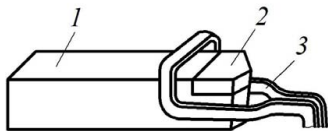


Рис. 3.9. Установка индуктора для пайки режущей пластины однолезвийных инструментов:

1 – корпус инструмента;  
2 – пластина; 3 – индуктор

Индуктор изготавливают с таким расчетом, чтобы его витки располагались параллельно линиям спая пластин и корпуса, а зазор между витками индуктора и корпусом инструмента был не менее 10 мм. На рис. 3.9 показана установка индуктора петлевой формы для пайки токарного резца, а на рис. 3.10 – установка индуктора для одновременной пайки нескольких пластин многолезвийного

инструмента. Акцентируем ваше внимание на том, что направление витков индукторов совпадает с линиями спая режущих пластин.

Прочность соединения пластин с корпусом определяется, главным образом, физико-механическими свойствами припоя. Припой не должен быть тугоплавким, так как высокая температура пайки усложняет процесс и негативно влияет на механические свойства стали, из которой изготовлен корпус инструмента. В расплавленном состоянии припой должен обладать доста-

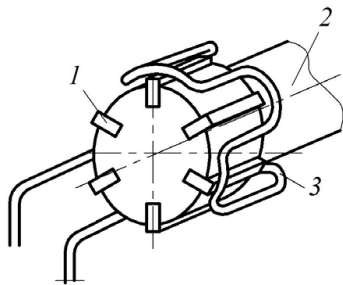


Рис. 3.10. Установка индуктора для одновременной пайки режущих пластин многолезвийных инструментов:

1 – корпус инструмента;  
2 – пластина; 3 – индуктор

точной жидкотекучестью и хорошо смачивать твердый сплав и сталь, из которой изготовлен корпус. Припой должен диффундировать или образовывать твердые растворы как с материалом режущей пластины, так и с материалом корпуса, обеспечивая достаточную прочность соединения. Кроме того, припой должен иметь механические свойства (прочность и пластичность), гарантирующие надежность крепления пластин к корпусу или державкам инструмента.

В практике инструментального производства применяют твердые припои с температурой плавления 600...900° С. Основой большинства

припоев является серебро, а также медь с добавками цинка, никеля и марганца.

Чаще всего применяют припой в виде фольги толщиной 0,2...0,3 мм, предварительно нарезанной по размеру паза. Для пайки многолезвийных инструментов с полуоткрытыми и закрытыми пазами используют припой в виде таблеток толщиной 2 мм и диаметром 8...12 мм, прессуемых из смеси мелкой стружки припоя с флюсом в нужной пропорции.

В табл. 3.5 приведены некоторые марки припоев, применяемых для пайки различных инструментов.

Таблица 3.5

Некоторые марки припоев для пайки инструмента

Инструмент	Марка припоя	Температура плавления припоя, °С
Резцы отрезные и канавочные	Л63	900...910
	ПрМНКМ <sub>9</sub>	910...930
Резцы проходные, фасонные; сверла с внутренним каналом для охлаждения; ножи для сборного инструмента	ТСПСр47+М1	665...730
	ЛМцЖ57-15-0,75	865...873
Сверла спиральные, фрезы, зенкеры, развертки, зенковки, протяжки	СвСр50	625...640
	Л63	900...910
Вспомогательный инструмент. Базовые и измерительные элементы калибров; центры, втулки, ножи опорные, шупы	СвСр50	625...640

Для инструмента, работающего при невысоких температурных нагрузках и в условиях обильного охлаждения жидкими СОТС, применяют припой на серебряной основе. При прочих условиях используют более тугоплавкие и прочные припои на основе латуни. Для пайки инструмента с большой плоскостью спая или при соотношении толщин корпуса и пластины менее 3:1 применяют припой ТСПСр47+М1, представляющий собой трехслойную композиционную систему из двух серебросодержащих слоев, между которыми находится слой меди. При пайке плавятся серебросодержащие слои, а медная прокладка компенсирует термические напряжения из-за разности изменения размеров стального корпуса и твердосплавной пластины при охлаждении после пайки.

В заключение операции производят контроль качества пайки визуальным, люминесцентным и металлографическим методами. Ос-

новными дефектами являются трещины в пластинах твердого сплава, непропай, смещение пластин в пазах корпуса. Если два последних вида брака определяют визуально, то наличие микротрещин, трещин определяют в результате люминесцентного контроля на специальных установках. Допускается производить контроль качества пайки путем разрушения инструмента (1–3 штуки из партии).

После пайки изделия проходят операции шлифования и заточки. При этом может одновременно производиться обработка как стального корпуса, так и припаянных пластин из твердого сплава или сверхтвердого материала.

Для облегчения процесса заточки напаянная пластина должна выступать над корпусом в среднем на 0,1...0,2 мм.

Преимуществом операции пайки перед сваркой является сохранение структуры металла и точности размеров, выполненных на предыдущих операциях. Недостатки пайки заключаются в меньшей прочности соединения по сравнению со сваркой, а также в возникновении значительных остаточных напряжений в паяном шве из-за различных коэффициентов линейного расширения материала режущей пластины и материала корпуса инструмента.

### 3.4. Получение заготовок методом литья

Один из важнейших технико-экономических показателей технологического процесса — *коэффициент использования металла*.

Широко распространенные в инструментальном производстве заготовки, полученные методом прокатки иковки, характеризуются непроизводительными затратами металла и имеют относительно низкий коэффициент  $K_{им}$ . Например, при изготовлении червячных фрез из поковки  $K_{им} \cong 0,3...0,5$ .

Этого недостатка лишены заготовки, полученные методом литья. Значения коэффициента использования металла при изготовлении режущего инструмента из быстрорежущей стали из отливок в среднем в 1,5...2,0 раза выше, чем у поковок.

Так как масса заготовки, полученной методом литья, существенно ниже, чем у поковки или проката, то трудоемкость изготовления и расходы на инструментальный материал снижаются из-за уменьшения припуска на обработку. Изменяется технологический маршрут обработки за счет сокращения операций предварительной обработки. Преимуществом литой стали является не только экономия инс-



трументального материала, но и возможность утилизации стружки и отходов быстрорежущей стали, образующихся при механической обработке заготовок.

Структура литого инструмента из быстрорежущей стали имеет более неравномерное распределение карбидов по сравнению с инструментом, изготовленным из проката и поковок. Большой балл карбидной неоднородности литой стали приводит к неравномерной твердости и прочности рабочих поверхностей инструмента. Степень неоднородности структуры зависит от химического состава, метода литья и габаритных размеров отливки. Заготовки, полученные литьем, не рекомендуется применять для изготовления малоразмерного сложнопрофильного инструмента. Литая быстрорежущая сталь не может заменить заготовки из проката и поковки для инструмента диаметром до 50 мм, так как механические свойства у последних выше. Литые заготовки имеют ограниченное применение и используются, как правило, для изготовления крупноразмерных инструментов относительно простой формы. Улучшение структуры стали обеспечивается электрошлаковым переплавом, модифицированием специальными добавками титана или циркония в количестве 0,1...0,2%. Более высокие физико-механические свойства имеют отливки, полученные литьем в оболочковые и металлические формы.

Для литейных заготовок рекомендуется [7] применять быстрорежущую сталь с наименьшим содержанием карбидообразующих легирующих элементов, в том числе безвольфрамовые стали типа 11М5Ф, а также стали Р6М5, Р6М5К5, Р5М3ФЛ, Р9Х2Ф2МГЛ и т. п.

### **3.5. Ковка, штамповка и прокатка заготовок из быстрорежущей стали**

Технологияковки и штамповки быстрорежущих сталей принципиально не отличается от технологии обработки заготовок из конструкционных углеродистых и легированных сталей для деталей машиностроительного производства.

При ковке и горячей штамповке сталей решается основная задача – получить заготовку требуемой формы и с заданными размерами. Однако для инструментального производства характерно решение еще одной задачи, связанной с устранением дефектов структуры стали и снижением балла карбидной неоднородности.

Для снижения карбидной неоднородности заготовку, полученную из отливки или горячекатаного проката, подвергают многократной перековке до достижения заданных размеров. Карбидная неоднородность устраняется тем значительнее, чем выше степень деформации материала в процессековки или штамповки. Для улучшения структуры зуборезного, резбонарезного и другого инструмента с мелким профилем рабочей части рекомендуется проведение многократной осадки стали с последующей вытяжкой, что улучшает ее структуру, а следовательно, повышает стойкость инструмента. Путем такой многократной пластической деформации в горячем состоянии может быть получена структура стали первого – второго баллов карбидной неоднородности.

Ковка проводится в определенном температурном интервале нагрева заготовки, зависящем от химического состава быстрорежущей стали (табл. 3.6). Превышение температуры полной аустенизации стали (температура конца ковки, табл. 3.6) может привести к закалке поковки, а недогрев – к ухудшению ее пластичности.

Таблица 3.6

Температурные интервалы ковки быстрорежущей стали

Марка стали	Температура, °С	
	начала ковки	конца ковки
P6M5	1130...1160	850...870
P6M4K8	1180...1200	870...900
P18	1150...1200	900...920

Заготовки из быстрорежущей стали подвергают, как правило, трехступенчатому нагреву в печах с защитной атмосферой или в соляных ваннах. Сначала производят медленный нагрев до 500...700° С, затем до 850...880° С и только после этого поднимают температуру до 1100...1150° С. (Здесь следует обратить внимание на то, что максимальные температуры нагрева должны быть ниже закалочных температур.)

При ковке быстрорежущей стали необходимо учитывать ее специфические физико-механические и технологические свойства:

- низкую пластичность, особенно в отливках;
- пониженную теплопроводность, требующую медленного (относительно других сталей) нагрева перед ковкой;
- самозакаливаемость, вызывающую необходимость точного соблюдения температурного интервала ковки и последующего медленного охлаждения поволоков во избежание нежелательной закалки на воздухе.

Наряду с ковкой применяют горячую штамповку, которая обеспечивает большую точность размеров и формы заготовок, повышая коэффициент использования стали на 25...50%.

На рис. 3.11 приведен пример изготовления заготовки долбяка последовательно свободной ковкой (осаживанием), ковкой в подкладном штампе и затем прошивкой отверстия.

При горячей штамповке заготовок карбидная неоднородность быстрорежущей стали снижается на 2...3 балла, способствуя в конечном итоге повышению стойкости режущих инструментов. Вследствие уменьшения припусков на механическую обработку сокращается трудоемкость изготовления инструментов по сравнению с заготовками из сортового проката и поковок.

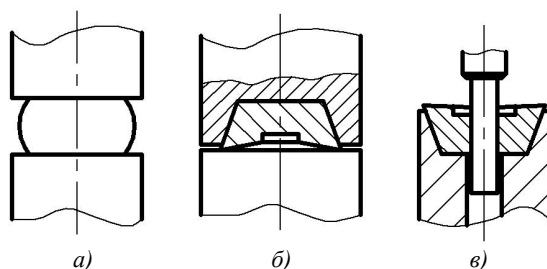


Рис. 3.11. Последовательность изготовления заготовки долбяка: а) осадка; б) объемная штамповка; в) прошивка отверстия

Нагрев быстрорежущей стали под штамповку и охлаждение заготовок после штамповки аналогичны термическому режимуковки (табл. 3.6).

### 3.6. Получение заготовок из твердого сплава

Твердые сплавы применяют для изготовления сборного, составного и цельного инструмента. Для сборного инструмента фирмы-производители твердых сплавов поставляют сменные многогранные неперетачиваемые пластины, выпускаемые в соответствии с национальными стандартами или международным стандартом ISO [1; 15]. Для изготовления составного инструмента в инструментальное производство поступают твердосплавные пластины, имеющие форму и размеры, необходимые для оснащения его рабочей части, например, по ГОСТ 25393-90. Пластины устанавливают в корпусе, как правило,

методом пайки и затем подвергают обработке на операциях шлифования и заточки.

В последние годы опережающее развитие получило изготовление цельного инструмента – сверл, зенкеров, фрез и др. Заготовки в виде стержней и пластин имеют относительно высокую точность размеров и, как правило, ультрадисперсную зернистость твердого сплава [по данным фирм PCG (Precision Carbide Germany), Gerhard Ihle (Германия) и LMT Voehlerit (Австрия)].

В табл. 3.7 приведены некоторые параметры марок твердых сплавов, а на рис. 3.12, 3.13 – конструкции твердосплавных заготовок-стержней для изготовления монолитного инструмента осевого класса.

Как видно из табл. 3.7, для таких стержневых заготовок применяют вольфрам-кобальтовые твердые сплавы. Их зернистость не превышает 0,6...1,5 мкм, что относит твердый сплав к ультрадисперсной группе, пока еще не нормированной отечественными стандартами.

Таблица 3.7

Марки твердого сплава для изготовления заготовок стержней

Маркировка	Состав		Размер зерна, мкм	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Твердость, HRA	Сопротивление разрыву, МПа
	Карбид вольфрама (±0,5%)	Кобальт (±0,5%)				
K05-K10	93	7	≤0,6	14,65	93,0	3800
K20-K30	90	10	0,7	14,40	91,8	4000
K30-K40	88	12	0,6	14,15	92,4	4000
K10	94	6	1,0	14,80	92,2	2900
K10	94	6	0,8...1,0	14,85	92,2	3600
K20	93	7	1,5	14,75	91,2	3100
K20-K35	90	10	0,7	14,40	91,5	4000
K01-K05	95	5	≤0,6	14,80	94,0	3500
K01-K05	94	6	≤0,6	14,65	94,5	3600
K01-K10	91	8	≤0,6	14,65	94,0	3800
K40	88	12	0,6	14,10	92,5	3600

Диапазон размеров стержней по наружному диаметру  $D$  находится в пределах от 2,0 до 42,2 мм. Допуск размера  $D$  для нешлифованных заготовок составляет от 200 до 700 мкм, а для шлифованных – 46 мкм. Радиальное биение наружной поверхности не должно превышать 0,3 мм для нешлифованных и 0,08 мм для шлифованных стержней. Длина  $L$  таких стержней обычно составляет от 50 до 330 мм.

На рис. 3.12 приведены конструкции типовых образцов заготовок из твердого сплава в виде стержней с плоскими торцами и одним сферическим торцом. Стержни изготавливают сплошными или с осевыми отверстиями, диаметр  $d$  и расположение  $l$  которых зависят от параметров изготавливаемого инструмента. Осевые отверстия могут быть как прямыми, так и винтовыми с шагом, равным шагу винтовой стружечной канавки будущего инструмента.

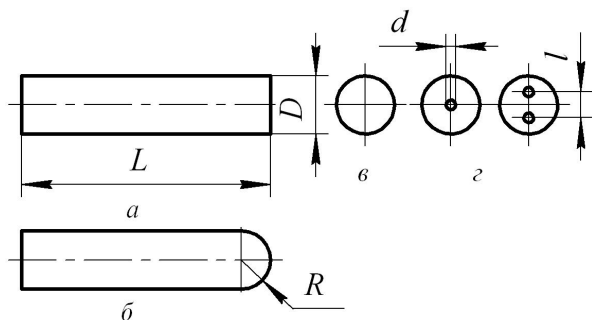


Рис. 3.12. Форма твердосплавных заготовок-стержней:  
 а) цилиндрический; б) цилиндрический с феерическим торцом;  
 в) сплошной; г) с центральными отверстиями

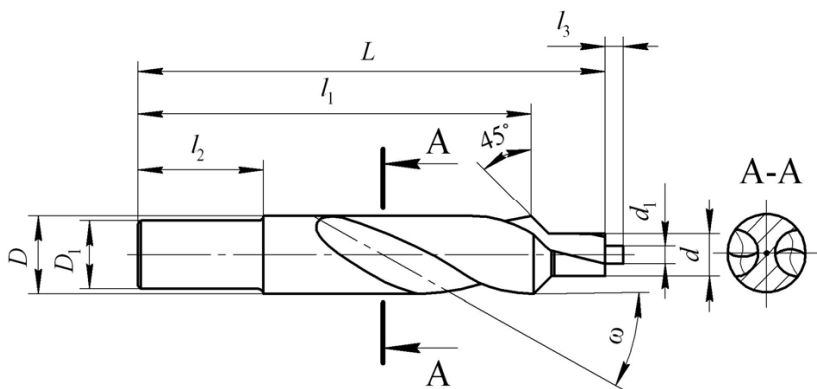


Рис. 3.13. Конструкция твердосплавной заготовки ступенчатого сверла

Кроме стержней цилиндрической формы производятся заготовки с более сложным профилем, сферической, ступенчатой, конической

поверхностями, в том числе с выполненными стружечными канавками (с припуском). На рис. 3.13 приведен эскиз заготовки ступенчатого сверла со стружечными канавками и с заданными линейными и диаметральными размерами.

На рис. 3.14 приведена конструкция, а в табл. 3.8 – основные размеры мелко модульной червячной фрезы из твердого сплава ВК10М, ВК15М и др. и заготовки для ее изготовления.

Таблица 3.8

Основные размеры твердосплавной заготовки и готовой червячной фрезы

Наименования изделия	Размеры, мм						
	$D$	$D_1$	$d$	$l$	$H$	$R$	$L$
Заготовка	32,8	19,8	12,4	9,8	5,4	1,2	11
Готовая фреза $m = 0,5$ мм	30,2	$20^{-0,5}$	$13^{+0,008}$	9,4	5	1,2	10,5

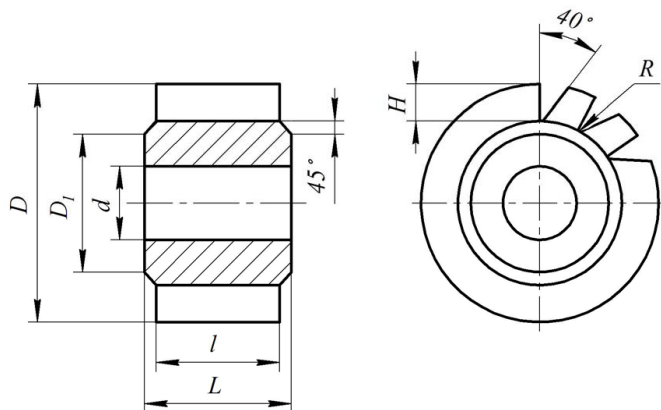


Рис. 3.14. Конструкция заготовки червячной фрезы из твердого сплава

### Вопросы для самоконтроля

1. Для изготовления инструмента какого класса применяют преимущественно круглый и полосовой прокат?
2. В каком виде поставляются заготовки из быстрорежущей стали, полученные в прокатном производстве?

3. Какие методы отрезки заготовок из проката обеспечивают наиболее высокую точность и низкую шероховатость?
4. Какие преимущества и недостатки имеют контактная и стыковая сварка и сварка трением?
5. В чем заключается преимущество заготовок инструмента из проката иликовки по сравнению с отливками?
6. Зачем при расчете длины заготовок перед сваркой следует учитывать припуск на угар?
7. Какую последующую технологическую операцию назначают после сварки заготовки?
8. Для изготовления каких инструментов применяют технологию пайки?
9. Что такое припой, флюс и для чего их применяют?
10. Какая технология получения заготовки позволяет снизить балл карбидной неоднородности быстрорежущей стали?
11. Что такое коэффициент использования металла?
12. Какие виды заготовок получают из твердого сплава?

## **Глава 4. ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗАГОТОВОК РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ**

---

---

### **4.1. Лезвийная обработка поверхностей заготовок инструмента**

В цикле формообразующих операций выполняют токарную обработку наружных и внутренних поверхностей осевого, насадного и дискового инструмента, фрезерование поверхностей плоского инструмента. Производят фрезерование стружечных канавок, спинок, пазов под ножи, гнезд под пластины, а также квадратов и лапок хвостовой части инструмента. Выполняют операции образования рифлений на ножах сборного инструмента, протягивания шпоночных пазов, отверстий и т. д. После завершения этих операций форма заготовки становится приближенной к форме изготавливаемого инструмента.

На операциях цикла формообразования поверхностей обеспечивают снятие основного объема припуска с заготовки. Как правило, свободные поверхности заготовки на этих операциях выполняют окончательно. Исполнительные поверхности и поверхности конструкторских баз, имеющие более высокую точность размеров, требуют дальнейшей обработки в последующем цикле шлифования и заточки. Для этого на них оставляют припуск 0,3...0,6 мм, величина которого зависит от размеров и формы изготавливаемого инструмента.

Формообразующие операции выполняют с помощью лезвийного инструмента на токарных, фрезерных, сверлильных и др. станках, в том числе с аналоговой или числовой системами управления.

К группе станков с аналоговой системой управления относятся станки, в которых программносителем являются копиры, кулачки и упоры, представляющие собой аналоги программы перемещений исполнительных органов. В инструментальном производстве применяют токарные станки с гидроконтрольным суппортом с экономически достижимой точностью размеров 9...10 квалитета, а также токарно-затыловочные, токарно-револьверные и др. станки с аналоговой системой управления.

Ко второй группе относятся станки, оснащенные системой числового программного управления (ЧПУ). Они обладают возможностью управления перемещением исполнительных органов станка, последовательностью циклов обработки и режимом резания на основе управляющей программы.



Токарную обработку производят на токарных станках с ЧПУ, например отечественных станках 16К20Ф3, 16К20Ф3С39 и станках зарубежных фирм, работающих в полуавтоматическом и автоматическом режимах. Оснащенные многопозиционными инструментальными головками, станки обеспечивают высокопроизводительную обработку заготовок со ступенчатым, цилиндрическим, коническим или криволинейным профилями. Производительность обработки на таких станках в 1,5...2,5 раза выше, чем на универсальных станках, а точность размеров обеспечивается на уровне 10...12 качества.

Эффективное развитие инструментального производства осуществляется на основе применения многофункциональных обрабатывающих центров, способных обеспечивать токарную, фрезерную, сверлильную обработку. Этот вид станочного оборудования отличает высокая концентрация переходов в одной технологической операции, сокращение времени на установку и смену инструмента, закрепление и снятие заготовки.

На станках подобного типа применяют прогрессивные конструкции инструментов (резцы, фрезы, сверла и др.), оснащаемые сменными непереключаемыми пластинами из твердого сплава или сверхтвердых материалов. Инструмент приспособлен к быстрой смене в автоматическом режиме и настройке на размер вне станка.

Начальной операцией при изготовлении инструмента (как, впрочем, и любой детали) является *подготовка технологических баз*. Для большинства инструментов осевого класса технологическими базами служат поверхности центровых отверстий. Производится обработка торцовых участков заготовки, участков, прилегающих к торцам (фасок), и собственно образование центровых отверстий.

В зависимости от серийности производства и технических требований к обрабатываемому инструменту сверление центровых отверстий и обработку торцов выполняют одновременно с двух сторон за один установ или последовательно за два установка.

Формирование технологических баз за один установ производят на специальных центrovально-фрезерных или центrovально-подрезных станках с одновременной обработкой обоих торцов и центровых отверстий. Построение операции в этом случае соответствует параллельной многоинструментальной схеме обработки.

Центrovально-фрезерные станки чаще всего применяют для обработки заготовок большого диаметра и заготовок деталей машин, не требующих дополнительной обработки участков, прилегающих к тор-

цам (рис. 4.1). Заготовку закрепляют по наружной поверхности в тисках с самоцентрирующимися губками. На первой позиции производится фрезерование обоих торцов заготовки, на второй – одновременное сверление отверстий центровочными сверлами (рис. 4.1,а). На третьей позиции выполняют установку-снятие заготовки.

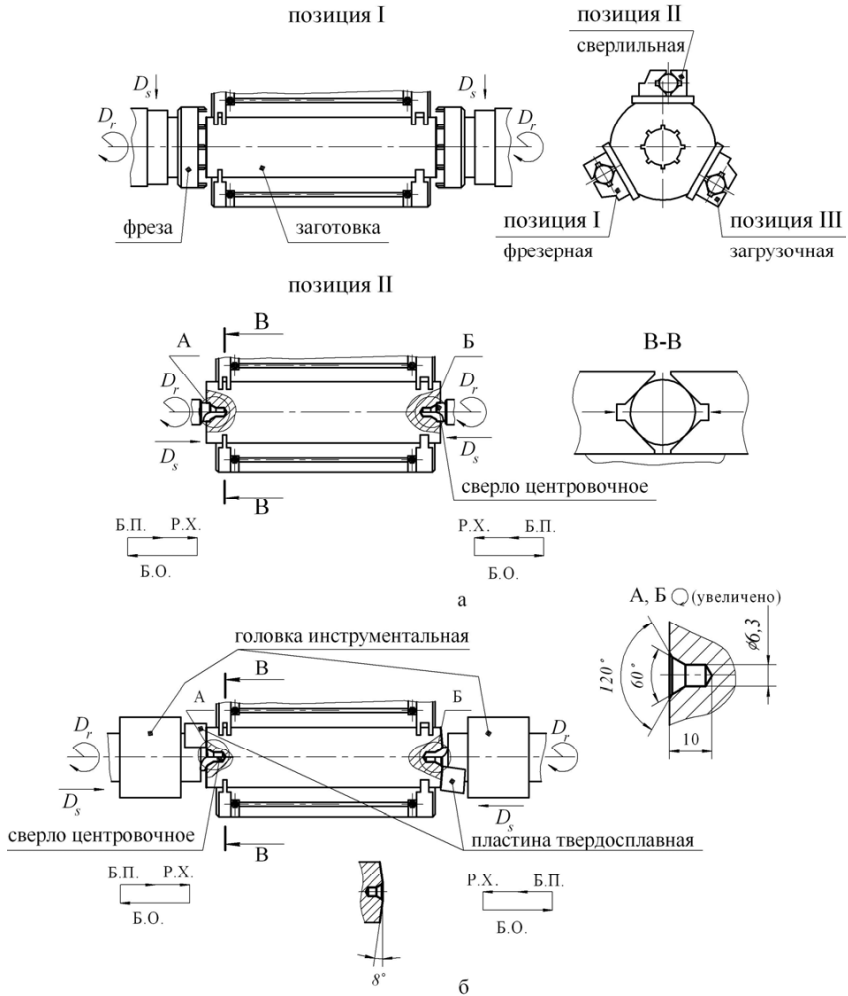


Рис. 4.1. Схема обработки центровых отверстий и торцов на центровально-фрезерном (а) и центровально-подрезном (б) станках: РХ – рабочий ход; БП – быстрый подвод; БО – быстрый отвод

Для обработки торцов и центрования заготовок относительно не-большого диаметра (до 50 мм) применяют центровально-подрезные станки. Закрепление заготовки происходит в тисках с самоцентрирующими губками. Обработка производится на одной позиции двумя соосно расположенными инструментальными головками. Головки оснащены центровочными сверлами и многогранными твердосплавными пластинами для обработки торцов, а также фасок или углов на торцах (рис. 4.1,б).

Образование центровых отверстий на противоположных торцах за один установ повышает производительность обработки, а получаемая при этом соосность центровых отверстий обеспечивает большую точность базирования заготовки на операциях изготовления инструмента и при переточках в процессе его эксплуатации.

Шероховатость поверхности центровых отверстий после лезвийной обработки должна быть не более Ra 2,5...5 мкм.

Технические характеристики некоторых моделей торцеобрабатывающих станков приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Технические характеристики торцеобрабатывающих станков

Параметр	Модель						
	Двухсторонние центровальные		Двухсторонние центровально-подрезные			Двухсторонние центровально-подрезные с разделной обработкой	
	2911	2912	2931	2932	2820М	И191Д	И191Б
Размеры заготовки, мм: диаметр длина	10...32 60...360	10...80 70...710	10...50 10...360	30...100 60...710	10...30 60...450	15...40 15...40	15...45 15...45
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	500... 2000	350... 1400	355... 1400	170... 1320	1000... 2000	1260 – подрезного 1400 – центровочного	
Мощность привода, кВт	1,1	1,5	2,2	2,2	0,6	7,5	9,5

При раздельном формировании центровых базовых поверхностей на токарных станках выполнение операций производится последовательно. В табл. 4.2 приведен пример выполнения операций подготовки технологических баз при изготовлении сверла на универсальном токарном станке. В отличие от большинства инструментов осевого класса (разверток, фрез, зенкеров и др.) на режущей части спирального сверла недопустимо

выполнять центровое отверстие, поэтому вместо него выполняют обратный центр с углом при вершине  $120^\circ$  или временный центр (рис. 1.5). Обработку выполняют за две операции с переустановкой заготовки. На первой операции закрепление заготовки производится за наружную необработанную поверхность – черновую базу. Здесь производится обтачивание технологической базы для последующей операции и обратного центра со стороны режущей части. На второй операции производится центрование заготовки со стороны хвостовой части. Этот вариант технически прост, реализуется на простых универсальных станках, но не обладает большой производительностью, а главное, не обеспечивает соосное расположение базовых поверхностей.

Таблица 4.2

Содержание операции формирования технологических баз

Операция, содержание переходов	Средства технологического оснащения			Операционный эскиз
	Станок	Приспособ-ление	Инструмент	
<p><b>Токарная</b> Установить и закрепить заготовку с выверкой 0,5 мм. Точить пов. 1 как чисто на длину 10...15 мм. Точить угол <math>120</math> град., выдержав размер <math>L</math>. Контроль 10% от партии</p>	16К20		<p>Резец проходной отогнутый ВК8, ГОСТ 18877-73</p> <p>Штангенциркуль ШЦ-I-125-01, ГОСТ 166-89</p> <p>Угломер У-11724, ГОСТ 5378-66</p>	
<p><b>Токарная</b> Установить и закрепить заготовку. Установить центровочное сверло в патроне. Центровать согласно чертежу. Контроль 10% от партии</p>			Патрон сверлильный, ГОСТ 8522-79	<p>Сверло центровочное, ГОСТ 14952-75</p>

Обработку поверхностей рабочих частей и хвостовиков заготовки *инструмента осевого класса* (сверл, зенкеров, разверток, концевых фрез, метчиков и т. д.) в зависимости от условий производства и серийности выпуска проводят на токарных универсальных станках, станках с гидрокопировальным суппортом, станках с ЧПУ, а в последнее время и на обрабатывающих центрах.

Так как заготовки осевого инструмента обычно получены сваркой из материалов с различной обрабатываемостью, то и режим обработки хвостовой и рабочей частей различен. Различная обрабатываемость быстрорежущей и конструкционной стали требует применения различных марок твердого сплава для резцов. В связи с этим заготовки осевого инструмента обрабатывают обычно за два установа, на которых отдельно обтачивают хвостовую и рабочую части.

В табл. 4.3 показано содержание операций обработки хвостовой части зенкера (рис. 4.2) на токарном станке с гидрокопировальным суппортом. Конструкция подобного зенкера показана на рис. 1.6. Поскольку линейные конструкторские размеры зенкера приведены к технологическим размерам, координация линейных размеров при обработке производится от нулевой точки детали  $0_d$  на левом торце заготовки. Поверхности заготовки обрабатывают резцом, получающим движение по заданной траектории через гидрокопировальный суппорт от копира, повторяющего конфигурацию обрабатываемой поверхности.

Таблица 4.3

Содержание операции и состав СТО на токарном гидрокопировальном станке

Операция, содержание переходов	Средства технологического оснащения		
	Станок	Приспособление	Инструмент
<b>25 Наладочная</b> Установить копир, выставить режущий инструмент	Токарный гидрокопировальный TGS8	Копир	Резец контурный с пластиковой T15K6
<b>30 Токарная</b> Точить шейку под лапку в размер $\varnothing 13,5$ мм, конус Морзе 3 с припуском 0,4...0,5 мм на диаметр, промежуточную шейку с занижением 0,8 мм		Патрон трехкулачковый, ГОСТ 2675-80 Центр вращающийся, ГОСТ 8742-75	Калибр-втулка конус Морзе 3, ГОСТ 2475-88 Штангенциркуль ШЦ-II-250-01, ГОСТ 166-89

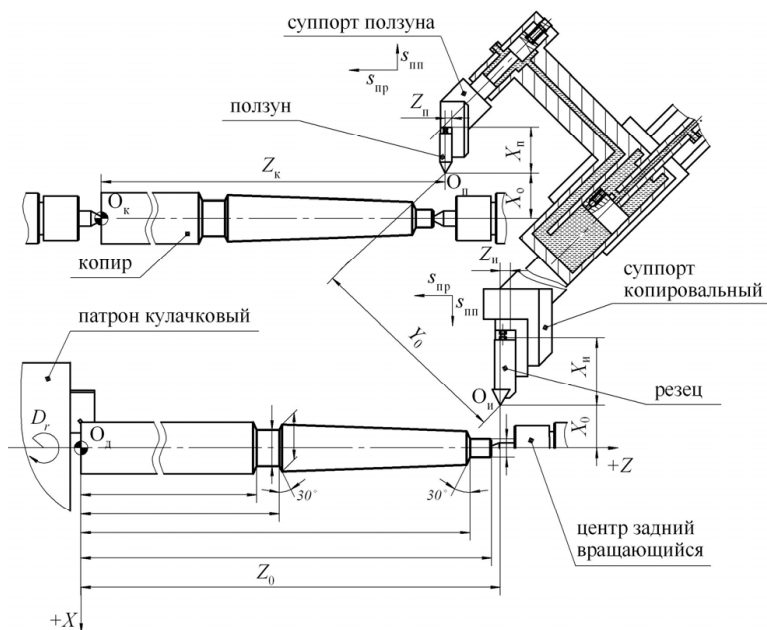


Рис. 4.2. Принципиальная схема обработки хвостовой части зенкера на токарном гидроконтрольном станке

В табл. 4.4 показано содержание операций, а на рис. 4.3 – схема обработки хвостовой части заготовки зенкера на токарном станке с ЧПУ.

Таблица 4.4

Содержание операции и состав СТО на токарном станке с ЧПУ

Операция, содержание переходов	Средства технологического оснащения		
	Станок	Приспособление	Инструмент
<p><b>25 Наладочная</b> Разработать программу обработки, выставить режущий инструмент, установить режим обработки, проверить движения станка. Внедрение программы обеспечить на первой детали</p>	Токарный 16К20Ф3	Патрон трехкулачковый, ГОСТ 2675-80 Центр вращающийся, ГОСТ 8742-75	Резец контурный с пластиной Т15К6 Калибр-втулка конус Морзе 3, ГОСТ 2475-88 Штангенциркуль ШЦ-П-250-01, ГОСТ 166-89
<p><b>30 Токарная</b> Точить шейку под лапку в размер <math>\varnothing 13,5</math> мм, конус Морзе 3 с припуском 0,4...0,5 мм на диаметр, угол <math>8^\circ</math>, промежуточную шейку с занижением 0,8 мм</p>			

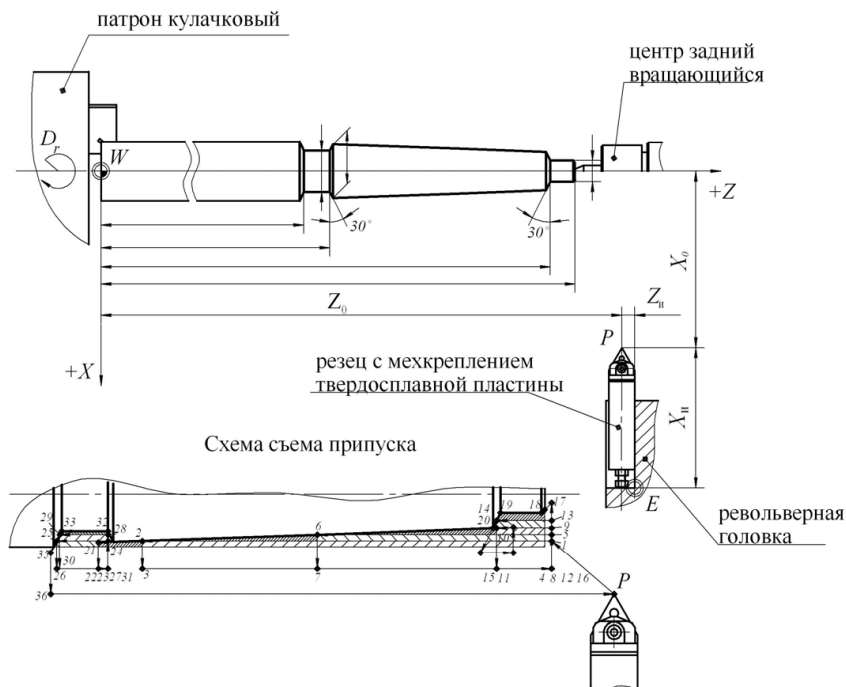


Рис. 4.3. Принципиальная схема обработки хвостовой части зенкера на токарном станке с ЧПУ

На рис. 4.4 показан пример технологической наладки операции обработки поверхностей червячной фрезы хвостового типа на токарном станке с ЧПУ. Здесь обозначены  $X_d$  и  $Z_d$  – координатные оси детали;  $X_c$  и  $Z_c$  – координатные оси станка;  $X_u$  и  $Z_u$  – координатные оси инструмента.

Операции, приведенные на рис. 4.3, 4.4 и в табл. 4.4, выполняют на токарном станке с двумя управляемыми осями  $X$  и  $Z$ . Так как и далее будет представлено содержание операций на различных станках с ЧПУ, рассмотрим порядок обозначений линейных и поворотных движений их рабочих органов, регламентируемых стандартом ISO-R 841 Международной организации стандартов.

Направление движений инструментов относительно заготовки указывается в правой системе координат по осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  (рис. 4.5). Неуправляемые движения инструмента и заготовки, обеспечивающие главное движение резания, например вращение заготовки на токарном станке или шлифовального круга на шлифовальном станке, в системе координат не обозначаются.





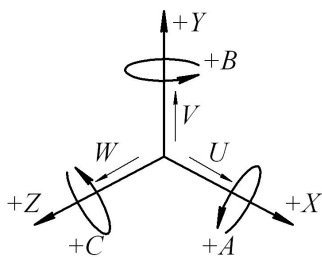


Рис. 4.5. Система координат в станках с ЧПУ

При неподвижном инструменте направление движения заготовки обозначают буквами  $X'$ ,  $Y'$ ,  $Z'$ . Положительным направлением перемещений рабочих органов станка считается движение, когда инструмент и заготовка удаляются друг от друга. Ось  $Z$  всегда параллельна оси вращения главного шпинделя станка, причем положительным направлением считается направление от заготовки к инструменту. Ось  $X$  располагается в горизонтальной плоскости, причем если ось  $Z$  также расположена горизонтально, то положительное направление оси  $X$  определяется в правую сторону. Направление оси  $Y$  определяют по направлениям осей  $X$  и  $Z$ . Если в станке движение некоторых рабочих органов осуществляется в параллельных осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  направлениях, то они обозначаются буквами  $U$ ,  $V$ ,  $W$  (вторичные оси) и  $P$ ,  $Q$ ,  $R$  (третичные оси).

Круговые движения рабочих органов станка относительно заготовки считаются положительными при движении против часовой стрелки. Поворот вокруг осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  соответствует круговым движениям станка  $A$ ,  $B$ ,  $C$ . Дополнительные вращательные движения обозначают буквами  $D$  и  $E$ . При наличии на станке нескольких шпинделей один из них выбирают в качестве главного с соответствующей индексацией направлений осей  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $Z_1$  и т. д.

В табл. 4.5 показаны основные технические характеристики токарных обрабатывающих центров с противошпинделем с одной (модель T-7SM) и двумя револьверными головками (модель T-72TSM) фирмы LEADWELL (Тайвань).

На рис. 4.6 приведена принципиальная схема многофункционального токарного обрабатывающего центра с двумя револьверными головками и противошпинделем, установленным вместо задней бабки. Наличие двух шпинделей, оснащение двумя револьверными головками с приводными позициями для установки фрез, сверл, зенкеров, метчиков позволяет, кроме обтачивания, выполнять фрезерование, сверление, нарезание резьбы на любой поверхности заготовки.

Таблица 4.5

Технические характеристики токарных обрабатывающих центров

Рабочий диапазон	Единица измерения	Модель станка	
		T-7SM	T-7T2SM
Максимальный диаметр устанавливаемой заготовки	мм	620	620
Максимальный диаметр точения	мм	420	420
Максимальная длина точения	мм	520	290
Перемещение левого суппорта по осям X/Z	мм	255/550	240/338
Перемещение правого суппорта по осям X <sub>2</sub> /Z <sub>2</sub>	мм	—	240/338
Перемещение противопинделя по оси U	мм	520	520
Максимальный диаметр прутковой заготовки	мм	51	51
Подачи			
Скорость быстрых перемещений по осям X, Z, U	м/мин	20	20
Мощности двигателей приводов подач осей X/Z/U	кВт	2,1/1,0/1,0	2,1/1,0/1,0
Дисковая револьверная головка			
Количество инструментальных мест	шт.	12	2×12
Время смены – один инструмент/180 град.	с	0,6/1,6	0,6/1,6
Частота вращения приводного инструмента	мин <sup>-1</sup>	25...4500	25...4500
Мощность привода вращающего инструмента	кВт	3,7	2,2

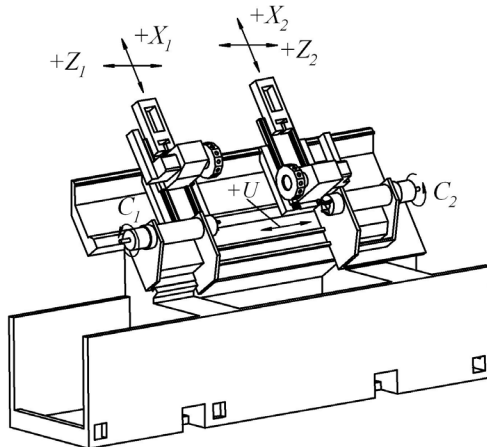


Рис. 4.6. Принципиальная схема токарного обрабатывающего центра с противопинделем

Наличие противошпинделя позволяет перехватывать заготовку, обработанную с одной стороны в главном шпинделе, и обрабатывать ее с другой стороны (движение по оси  $U$ , рис. 4.6). Станок оснащен двухканальной системой ЧПУ, поэтому процесс обработки может производиться параллельно на двух заготовках двумя револьверными головками. Поворот заготовки вокруг оси  $Z$  на заданный угол  $C$  позволяет производить обработку на наружной поверхности заготовок, например фрезерование винтовой канавки, уступов, шпоночных пазов и пр.

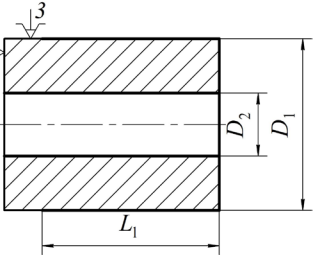
Несмотря на конструктивные различия, порядок обработки заготовок насадного и дискового инструмента имеет единую технологическую последовательность.

В качестве примера разработки операционной технологии в табл. 4.6 приведено описание выполняемых вспомогательных и технологических переходов на операциях токарной обработки заготовки червячной фрезы насадного класса. Заготовка цилиндрической формы выполнена из горячекатаного проката, подвергнутого ковке для снижения балла карбидной неоднородности.

На черновой токарной операции (операция 010) получают технологические базы – торец и наружный диаметр – и производят предварительную обработку отверстия. На операции используется токарно-револьверный или универсальный токарный станок. Операционный эскиз обработки и содержание операции приведены в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Содержание токарной операции 010 и состав СТО

Операция, содержание переходов	Операционный эскиз
<p><b>010 Токарная</b>            Установить и закрепить.            Подрезать торец 1 «как чисто».            Точить наружный диаметр <math>D_1</math> до кулачков.            Центровать.            Сверлить отверстие, выдерживая размер 0,5 диаметра <math>D_2</math>.            Рассверлить отверстие, выдерживая размер <math>D_2</math>.</p>	

После получения технологических баз заготовка проходит обработку по наружной и внутренней поверхностям (операции 020 и 030) на токарном станке с ЧПУ. Обработку производят за два установа и четыре операции – две наладочные и две токарные.

Операционные эскизы и содержание операций приведены в табл. 4.7.

Таблица 4.7

Содержание токарных операций на одношпиндельном станке с ЧПУ

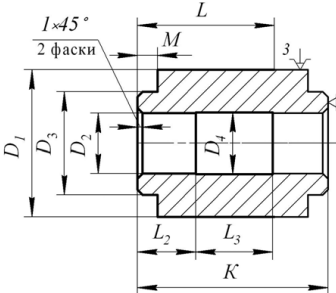
Операция, содержание переходов	Операционный эскиз
<p>015 Наладочная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разработать программу токарной обработки.</li> <li>2. Выставить режущий инструмент.</li> <li>3. Установить режимы обработки.</li> <li>4. Проверить рабочие движения станка</li> </ol>	
<p>020 Токарная с ЧПУ</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Заготовку установить и закрепить.</li> <li>2. Подрезать торец «на чисто».</li> <li>3. Точить по наружному диаметру до кулачков в размер <math>D_1</math>.</li> <li>4. Точить буртик в размер <math>D_3</math> на длину <math>M</math>, снять фаску <math>1 \times 45^\circ</math>.</li> <li>5. Расточить отверстие на длине <math>L_1</math> в размер <math>D_2</math>.</li> <li>6. Снять заготовку</li> </ol>	
<p>025 Наладочная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разработать программу токарной обработки.</li> <li>2. Выставить режущий инструмент.</li> <li>3. Установить режимы обработки.</li> <li>4. Проверить рабочие движения станка</li> </ol>	
<p>030 Токарная с ЧПУ</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Заготовку установить и закрепить.</li> <li>2. Подрезать торец в размер <math>K</math>.</li> <li>3. Точить до кулачков наружный диаметр в размер <math>D_1</math>.</li> <li>4. Точить буртик в размер <math>D_3</math> на длину <math>M</math>.</li> <li>5. Расточить отверстие <math>D_2</math> в размер <math>L_2</math>, снять фаску <math>1 \times 45^\circ</math>.</li> <li>6. Расточить выточку <math>D_4</math> в размер согласно чертежу, выдерживая размер <math>L_2</math> и <math>L_3</math>.</li> <li>7. Снять заготовку</li> </ol>	

После двух операций токарной обработки на заготовке обработаны отверстие и торцы, выполненные по качеству 7, которые принимаются в качестве технологических баз для всех последующих операций. Выточка и фаски выполнены на операциях 020 и 030 окончательно. Все остальные поверхности должны проходить окончательную обработку на операциях шлифования и заточки.

Теперь рассмотрим процесс обработки такой же заготовки червочной фрезой на многофункциональном обрабатывающем центре с противошпинделем (табл. 4.8).

Таблица 4.8

Содержание токарной операции на двухшпиндельном станке с ЧПУ

Операция, содержание переходов	Операционный эскиз
<p>015 Наладочная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разработать программу токарной обработки.</li> <li>2. Выставить режущий инструмент.</li> <li>3. Установить режимы обработки.</li> <li>4. Проверить рабочие движения станка</li> </ol>	
<p>020 Токарная специальная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Заготовку установить и закрепить в патроне главного шпинделя.</li> <li>2. Подрезать торец «как чисто».</li> <li>3. Точить наружный диаметр до кулачков в размер <math>D_1</math>, снять фаску <math>1 \times 45</math>.</li> <li>4. Точить буртик в размер <math>D_3</math>, выдерживая размер <math>M</math>.</li> <li>5. Расточить отверстие в размер <math>D_2</math>, выдерживая размер <math>L_1</math>.</li> <li>6. Заготовку переустановить и закрепить в патроне противошпинделя.</li> <li>7. Подрезать торец в размер <math>K</math>.</li> <li>8. Точить до кулачков наружный диаметр в размер <math>D_1</math>.</li> <li>9. Точить буртик в размер <math>D_3</math> и <math>M</math>, снять фаску <math>1 \times 45</math>.</li> <li>10. Расточить отверстие <math>D_2</math> в размер <math>L_2</math> и выточку в размер <math>D_4</math> и <math>L_3</math>, снять фаску <math>1 \times 45</math>.</li> <li>11. Заготовку из противошпинделя снять</li> </ol>	<p>Установ в главном шпинделе</p>  <p>Установ в противошпинделе</p> 

Очевидно, что одновременная обработка двух заготовок в главном шпинделе и противошпинделе резко снижает основное время операции по сравнению с последовательным точением на обычных станках с ЧПУ (табл. 4.7). Быстрые вспомогательные перемещения и смена инструмента снижают вспомогательное время. Кроме того, обеспечивается возможность сконцентрировать обработку большинства поверхностей заготовки на одном станке. Комплектация такого центра фрезерной

поворотной головкой создает дополнительную возможность реализации большого числа технологических схем обработки, например фрезерование стружечных канавок, пазов для установки твердосплавных пластин и др. Обработка с помощью фрезерных и револьверных головок может производиться последовательно или одновременно. На рис. 4.7 приведена принципиальная схема токарно-фрезерного обрабатывающего центра серии NL фирмы MORI SEIKI (Япония), имеющего до 11 управляемых осей (одновременно действуют до 5 осей), обеспечивающего полную обработку обтачиванием, фрезерованием и сверлением с обеих сторон заготовки. Здесь револьверные головки 5, 6 перемещаются по управляемым осям  $X$  и  $Z$ . Оба шпинделя 1, 4 имеют возможность управляемого поворота  $C1$  и  $C2$  вокруг оси  $Z$ . Фрезерная головка 3 обладает возможностью перемещения по осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  и поворота вокруг оси  $B$ . Противопиндель 4 перемещается вдоль оси  $U2$  для перехвата заготовки из главного шпинделя 1.

Проведем качественный анализ эффективности двух вариантов обработки заготовки червячной фрезы, показанных в табл. 4.7 и 4.8.

*Первый вариант.* На одношпиндельном токарном станке с ЧПУ производится одноместная последовательная обработка полного контура заготовки за две технологические операции (табл. 4.7). Штучное время обработки на операциях 020 и 030 определяется формулами (табл. 1.9)

$$T_{шт}^{20} = \sum_{i=1}^n t_{oi}^{20} + t_{yc} + t_{yn} + t_c; \quad T_{шт}^{30} = \sum_{i=1}^n t_{oi}^{30} + t_{yc} + t_{yn} + t_c \quad (4.1)$$

Суммарное штучное время двух операций равно

$$T_{шт} = \sum_{i=1}^n t_{oi}^{20} + \sum_{i=1}^n t_{oi}^{30} + 2(t_{yc} + t_{yn} + t_c). \quad (4.2)$$

*Второй вариант.* На токарном обрабатывающем центре с противопинделем производится одноместная параллельная обработка полного контура заготовки за одну операцию (табл. 4.8). Формула для расчета штучного времени в этом случае имеет вид

$$T_{шт} = \sum_{i=1}^n t_{ол}^{20} + t_{yc} + t_{yn} + t_c, \quad (4.3)$$

здесь  $\sum_{i=1}^n t_{ол}^{20}$  характеризует лимитирующее суммарное основное время технологических переходов, например в главном шпинделе.

Анализ формул (4.2) и (4.3) показывает, что применение станка с противопинделем может дать ощутимый эффект как за счет сокра-

щения основного времени в результате параллельной обработки, так и за счет уменьшения вспомогательного времени, характеризуемого величиной  $t_b = t_{yc} + t_{yn} + t_c$ . Количественные показатели эффективности применения конкретного вида оборудования определяются на основе расчетов режима резания и определения значений  $t_b$ .

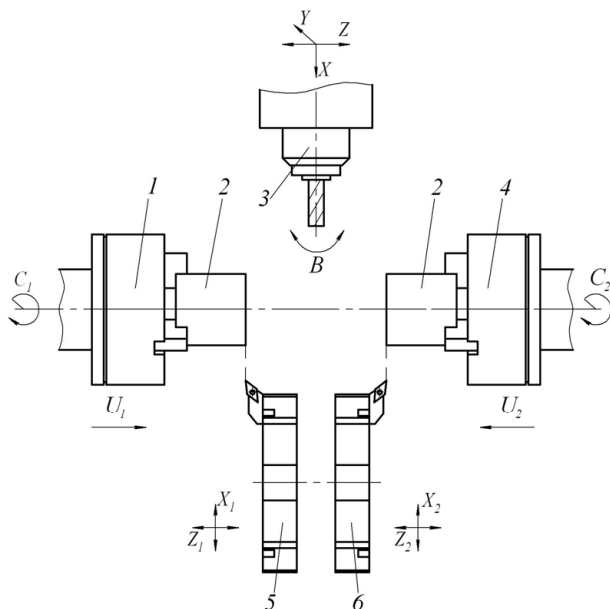


Рис. 4.7. Схема обработки на многофункциональном токарно-фрезерном центре серии МТ: 1 — главный шпиндель; 2 — заготовка; 3 — фрезерная головка; 4 — противопиндель; 5, 6 — револьверные головки

При выборе станочного оборудования следует учитывать сложность конструкции изготавливаемого изделия, серийность его выпуска и стоимость станка. Так, при изготовлении сравнительно простых изделий применение обрабатывающего центра может оказаться экономически нецелесообразным в связи с избыточностью для обработки данного изделия выполняемых функций на таком станке.

*Обработка заготовок протяжек.* Круглые протяжки являются менее технологичным изделием осевого класса по сравнению со спиральными сверлами, развертками или метчиками. Обладая значительной длиной и относительно малым диаметром, они имеют малую жесткость в радиальном направлении. Высокие требования к точности размеров и форме профиля инструмента вызывают необходимость

тщательно соблюдать технологическую культуру производства, начиная с операций токарной обработки и заканчивая термообработкой, шлифованием и заточкой.

После центровой операции следует предварительное обтачивание наружной поверхности «как чисто» для удаления дефектного слоя с заготовки, полученной методом проката. Затем следует правка (рихтовка) заготовки и ее отпуск для снятия внутренних напряжений во избежание последующей деформации. Операция отпуска может повторяться и при последующей обработке, что связано с необходимостью обеспечить прямолинейность оси относительно длинной и тонкой заготовки.

Во избежание прогиба длинной заготовки основную формообразующую операцию выполняют на токарном станке с ЧПУ с применением люнета *1* (рис. 4.8, *а, б*). По заданной программе производят обтачивание режущей и калибрующей частей протяжки с припуском до 1 мм, затем хвостовой части с припуском до 0,5 мм и наконечник обрабатывают шейку окончательно (рис. 4.8, *а*). Далее следует токарная операция нарезания стружечных канавок на режущей и калибрующей частях протяжки (рис. 4.8, *б*), которая выполняется специальными фасонными резцами, спрофилированными под канавку. Размеры канавок выполняют с припуском под последующую заточку передних поверхностей.

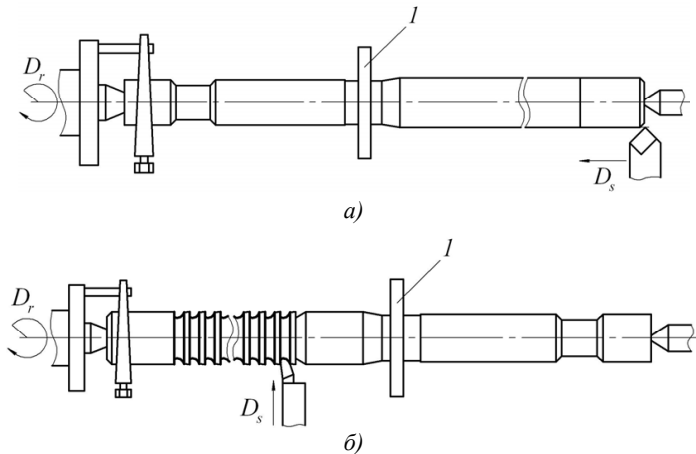


Рис. 4.8. Схемы обработки наружных поверхностей (а) и нарезания стружечных канавок (б) при токарной обработке круглой протяжки: 1 – неподвижный люнет



Протяжки для наружной обработки имеют призматическую форму и относятся к классу плоского (стержневого) инструмента. Обработку плоских поверхностей заготовок протяжек производят на фрезерных или строгальных станках. После формирования базовых поверхностей фрезеруют поверхность режущей части протяжки с углом подъема режущих зубьев относительно базовой плоскости.

Стружечные канавки на режущей части плоских протяжек фрезеруют на универсально-фрезерных станках с вертикальной фрезерной головкой шпинделя. Заготовку устанавливают в приспособление синусного типа (рис. 4.9).

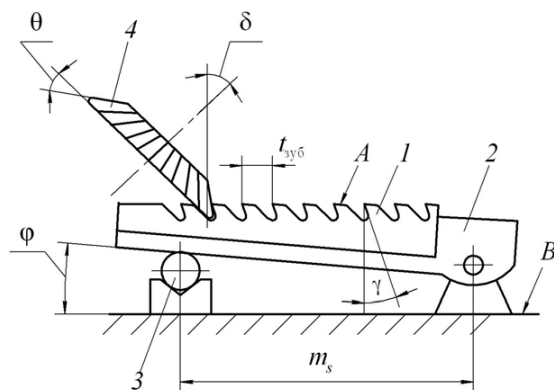


Рис. 4.9. Схема фрезерования зубьев режущей части плоской протяжки:  
1 – заготовка, 2 – приспособление, 3 – мерный валик, 4 – фреза

Режущую поверхность  $A$  протяжек выставляют с помощью поворота синусного приспособления на угол  $\varphi$  так, чтобы она располагалась параллельно плоскости  $B$  стола. Угол поворота определяют по формуле

$$\sin \varphi = \frac{h_n - h_1}{t_{\text{зуб}}(n-1)},$$

где  $h_n, h_1$  – соответственно высота протяжки по последнему и первому режущим зубьям;  $t_{\text{зуб}}$  – шаг зубьев.

Определив угол  $\varphi$ , рассчитывают диаметр  $d_s$  мерного валика, необходимого для поворота приспособления,

$$d_s = m_s \sin \varphi, \quad (4.4)$$

где  $m_s$  – расстояние между осью поворота приспособления и осью мерного валика.

При фрезеровании протяжек с наклонными режущими зубьями продольное перемещение производят на величину нормального шага  $t_n = t_{зуб} \cos \omega$ , где  $\omega$  – угол наклона зубьев.

Для образования заданного переднего угла  $\gamma$  необходим поворот шпиндельной головки фрезерного станка на угол

$$\delta = 90^\circ - (\theta + \gamma - \varphi), \quad (4.5)$$

где  $\theta$  – угол наклона образующей конуса одноугловой фрезы.

Несколько меньшую, по сравнению с токарной обработкой, долю трудоемкости операции лезвийной обработки занимает *фрезерование лапок и квадратов хвостовой части инструмента*.

На хвостовой части конических хвостовиков сверл, зенкеров, разверток располагаются лапки, служащие для извлечения инструмента из шпинделя или пиноли металлорежущего станка. Квадраты на цилиндрических хвостовиках метчиков и разверток служат для передачи крутящего момента на инструмент. В зависимости от серийности производства для обработки лапок и квадратов применяют универсальные фрезерные станки или фрезерные полуавтоматы. На горизонтально-фрезерных станках заготовки устанавливают в одно- или многоместные приспособления с упором в осевом направлении (со стороны рабочей части) и закрепляют с помощью гидравлических или пневматических зажимов. Фрезерование производят набором из двух специальных фрез (рис. 4.10). Фрезы устанавливают на единой оправке на расстоянии, равном толщине лапки  $b$ , и производят ее одновременную обработку с двух сторон.

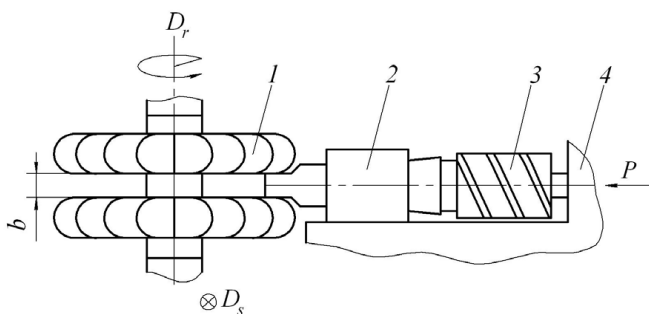


Рис. 4.10. Схема фрезерования лапки двумя фрезами: 1 – фреза; 2 – зажимное приспособление; 3 – заготовка; 4 – упор

Для уменьшения вспомогательного времени, связанного с загрузкой и снятием заготовки со станка, на вертикально-фрезерном стан-

ке применяют многоместные зажимные приспособления с круглым столом. В этом случае фрезерование производится одновременно с загрузкой и снятием заготовок.

Квадраты на метчиках и развертках фрезеруют в делительных приспособлениях, как правило, комплектом из двух фрез. Применяют одно- или многошпиндельные приспособления с цанговым, пневматическим или гидравлическим зажимом и автоматическим делением.

## 4.2. Резьбо- и зубообразующие операции

Резьбовые поверхности режущего инструмента имеют двойное служебное назначение. Во-первых, резьба как элемент крепления инструмента на станке или при его сборке. В этом случае технические требования к резьбовому профилю в принципе не отличаются от требований, предъявляемых к деталям машин. Во-вторых, резьба на рабочей поверхности зубо- и зубообразующего инструмента – метчиках, резьбовых фрезах, резьбовых гребенках, червячных фрезах и др. Окончательная обработка профиля резьбы проводится на операциях резьбошлифования.

В цикле формообразующих операций производится предварительная обработка резьбового профиля на токарно-винторезных станках с помощью резьбовых резцов, резьбовых гребенок, а также специальными маточными метчиками при обработке внутренней резьбы, например, у плашек.

При обработке резьбы на заготовках из твердого сплава зачастую применяют электроэрозионную обработку. В ряде случаев на закаленных стальных заготовках используют накатывание резьбового профиля. Окончательную обработку резьбового профиля производят на операциях шлифования, причем резьбы с шагом до 2 мм шлифуют без предварительной лезвийной обработки.

При нарезании резьбы резцами применяются три основных способа формообразования резьбового профиля (рис. 4.11):

- 1) с радиальной подачей на глубину  $t$ ;
- 2) с подачей под углом, равным половине угла профиля резьбы  $0,5\epsilon$ ;
- 3) с комбинированной подачей.

Во всех случаях осуществляется продольная подача резца  $S$ , равная шагу резьбы.

Обычно применяют комбинацию двух первых способов: предварительную обработку проводят по второму способу, а чистовую –

с радиальной подачей, обеспечивающей более высокую точность профиля резьбы.

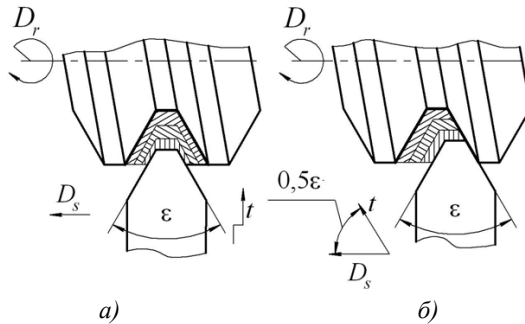


Рис. 4.11. Схема нарезания резьбы резцом

Обработку резьбы на заготовках метчиков производят точением на токарно-винторезных станках или резьботокарных полуавтоматах. Крупные резьбы на метчиках, червячных фрезах и других инструментах обрабатывают с помощью дисковых фрез, установленных под углом  $\omega$ , равным углу подъема винтовой линии резьбы (рис. 4.12). Фрезерование обеспечивает более высокую производительность обработки по сравнению с обтачиванием резцом. На рис. 4.12 заготовка фрезы закреплена на цилиндрической оправке, установленной в центрах станка.

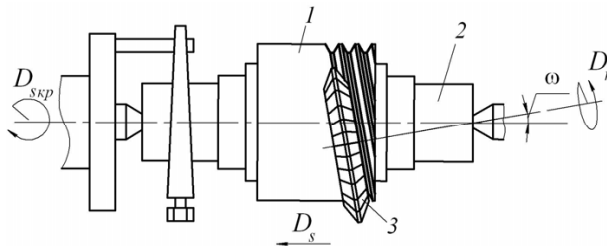


Рис. 4.12. Схема фрезерования профиля червячной фрезы: 1 – заготовка фрезы; 2 – оправка; 3 – дисковая фреза

При изготовлении резьб с мелким шагом применяют многониточные гребенчатые фрезы (рис. 4.13), а обработку производят на специальных резьбофрезерных станках. В процессе резьбофрезерования к заготовке, вращающейся со скоростью  $V_1$ , подводится фреза до вре-

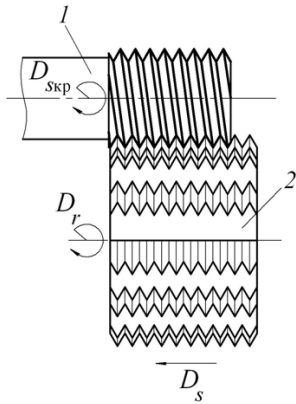


Рис. 4.13. Схема фрезерования резьбы многозубчатой гребенчатой фрезой: 1 – заготовка; 2 – фреза

зания на полную высоту профиля резьбы. Затем инструмент перемещается в осевом направлении с продольной подачей  $S$ , равной шагу получаемой резьбы. Для полной обработки резьбового профиля достаточно всего  $1/4$  оборота заготовки. При этом резьба формируется сразу на всей длине заготовки (четверть оборота необходима для врезания фрезы в заготовку).

К наиболее распространенным операциям зубообработки рабочих поверхностей долбяков, шеверов относится зубофрезерование с помощью червячной фрезы.

Фрезерование зубьев является относительно трудоемкой операцией, от качественного выполнения которой во многом зависит возможность минимизации припуска на последующие операции чистового зубошлифования.

Зубофрезерование долбяков червячной фрезой в принципе не отличается от обработки зубчатых колес, за исключением того, что для получения боковых задних углов по профилю зубьев фреза должна совершать движение подачи  $D_s$  под углом  $\alpha_g$  к оси заготовки долбяка (рис. 4.14).

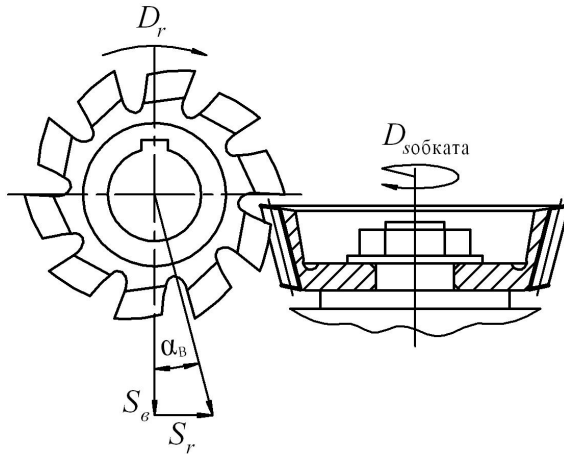


Рис. 4.14. Фрезерование зубьев на заготовке долбяка

Следует учесть, что червячные фрезы для зубофрезерования заготовок долбяков по сравнению с фрезами для чистовой обработки зубчатых колес имеют увеличенную высоту и уменьшенную на величину припуска под шлифование ширину зуба. Это обеспечивает получение профиля долбяка с гарантированным припуском для окончательной обработки.

### 4.3. Обработка рифлений на деталях сборного инструмента

У сборных инструментов, например торцовых и дисковых фрез, зенкеров и разверток, установка ножей в корпусе производится с помощью рифлений. Рифления выполняют на опорной поверхности ножей и на одной из стенок пазов корпуса, в которых они крепятся. Форма и размеры рифлений приведены на рис. 4.15 и 4.16.

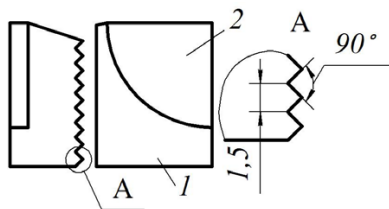


Рис. 4.15. Нож с твердосплавной пластиной и форма рифлений на его поверхности: 1 – корпус ножа; 2 – пластина

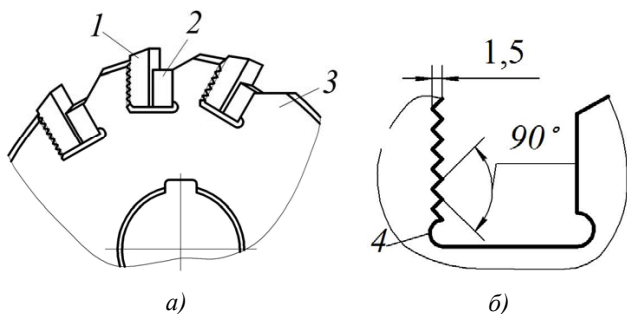


Рис. 4.16. Сборная фреза (а), форма паза и размеры рифлений в корпусе фрезы (б): 1 – нож; 2 – клин; 3 – корпус; 4 – технологическая канавка

Рифления на ножах из быстрорежущей стали обрабатывают до основной термической обработки. На ножах с напайными пластинами твердого сплава рифления могут обрабатывать как до напайки пластин, так и после. Обработка рифлений до операции пайки обеспечивает лучшие условия работы режущего инструмента, так как материал ножей имеет невысокую исходную твердость. Однако последующая пайка может привести к затеканию припоя на рифленую поверх-

ность, после чего требуется ее зачистка. Кроме того, в процессе пайки происходит деформация ножей, что приводит к искажению профиля рифлений, ухудшая их прилегание к рифлениям в пазах корпусов. Обработка рифлений после пайки обеспечивает их более стабильное качество без дополнительных операций.

Рифления обрабатывают на горизонтально-фрезерных станках многониточными резьбовыми фрезами, имеющими соответствующий профиль. Установка и закрепление заготовок ножей производится с помощью специальных многоместных приспособлений (рис. 4.17).

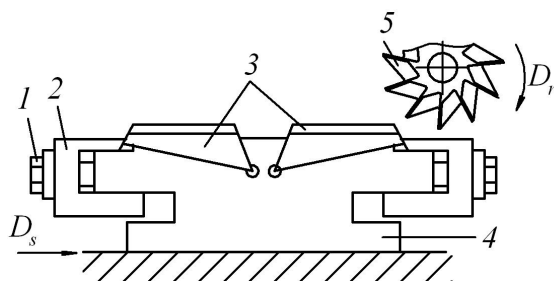


Рис. 4.17. Схема фрезерования рифлений на ножах в многоместном приспособлении: 1 – болт; 2 – прижим; 3 – заготовки; 4 – корпус; 5 – фреза

В практике производства сборного инструмента находит место и обработка рифлений протягиванием на горизонтально-протяжных станках с помощью специальных плоских протяжек. Способ крепления заготовок в приспособлении при протягивании такой же, как при фрезеровании.

Качество рифлений контролируют с помощью специальных шаблонов или инструментального микроскопа.

Окончательные размеры ножей по толщине и углу клина получают при шлифовании передней поверхности на плоскошлифовальных станках.

Пазы для ножей в корпусах сборного инструмента фрезеруют дисковой или концевой фрезой. Пазы с клиновидным уклоном (угол клина в большинстве случаев равен  $5^\circ$  в осевом направлении) обрабатывают за две установки обычной трехсторонней фрезой. Сначала фрезеруют прямоугольные пазы в осевом направлении, затем корпус поворачивают на  $5^\circ$  относительно оси вращения и фрезеруют скошенные стороны пазов.

После фрезерования пазов на одной из его поверхностей производят обработку рифлений протягиванием, долблением или строганием. Долбление рифлений производится на долбежном станке специальными гребенками (рис. 4.18).

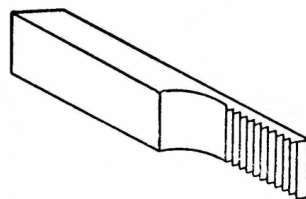


Рис. 4.18. Гребенка для изготовления рифлений в пазах фрез

Корпус инструмента крепится в приспособлении так, чтобы обрабатываемая плоскость паза совпадала с направлением движения гребенки. Перед обработкой рифлений в основании сторон паза прорезают технологические канавки или выполняют отверстия, необходимые для выхода инструмента (позиция 4, рис. 4.16). Контроль пазов производится калибрами.

#### 4.4. Фрезерование стружечных канавок

Конструктивной особенностью цельных многолезвийных режущих инструментов является наличие стружечных канавок, образующих режущие лезвия. Как правило, стружечные канавки цельных инструментов имеют более сложный профиль, чем у сборных инструментов, и располагаются на торцовой (плоской), конической или цилиндрической поверхности.

В зависимости от типа производства фрезерование стружечных канавок производится по различным технологическим вариантам.

1. Одноместная обработка методом копирования. Фрезерование стружечной канавки производится на универсально-фрезерном станке с последующим движением деления для обработки следующих канавок. В качестве необходимого станочного приспособления применяется одношпindelная делительная головка. При фрезеровании канавок на станке с ЧПУ движения деления обеспечивают управляемым поворотом  $S$  заготовки вокруг оси  $Z$  на требуемый угол и необходимость в делительной головке отпадает.

2. Многоместная обработка методом копирования. Фрезерование одновременно нескольких (от трех и более) заготовок, установленных на многошпindelных делительных головках. Рабочие фрезы по числу заготовок устанавливаются на общей оправке фрезерного станка (рис. 4.19).



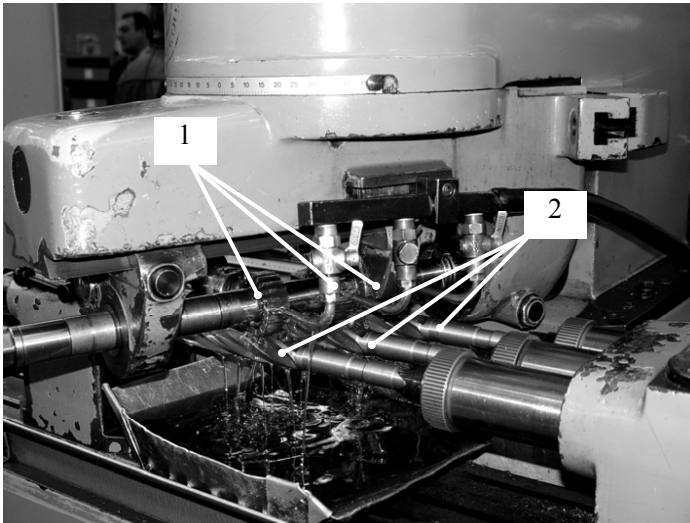


Рис. 4.19. Одновременное фрезерование спинок на трех заготовках сверл:  
1 – фрезы; 2 – сверла

3. Многоинструментальная обработка методом копирования. Одновременное фрезерование на заготовке стружечной канавки и спинки двумя различными фрезами, установленными на автономных шпинделях. Применяют специальные станки инструментального производства.

4. В ряде случаев в условиях крупносерийного производства стружечные канавки получают методом обката с помощью червячных фрез.

#### 4.4.1. Фрезерование стружечных канавок на торцовой поверхности

Стружечные канавки на торцовой поверхности фрезеруют при изготовлении торцовых и шпоночных фрез, двухсторонних, трехсторонних и одноугловых дисковых фрез. Канавки выполняют прямыми, а режущие кромки зубьев располагаются в радиальном направлении.

В качестве режущего инструмента применяют одноугловые дисковые фрезы. Для получения ленточки  $f$  одинаковой ширины по всей длине зуба ось заготовки фрезы должна быть наклонена под определенным углом  $\varphi$  относительно направления продольной подачи при фрезеровании (рис. 4.20).

Исходными данными для фрезерования канавок служат диаметр заготовки  $D$ , число зубьев на торце  $Z$ , ширина ленточки на зубьях  $f$ , передний угол  $\gamma$ , угол профиля фрезеруемой канавки  $\theta$ , радиус закруг-

ления впадины стружечной канавки  $r$ . Взяв эти данные из рабочего чертежа изделия, выбирают инструмент – одноугловую фрезу с углом профиля  $\theta$  и радиусом  $r$  при вершине, которые совпадают с соответствующими параметрами стружечной канавки.

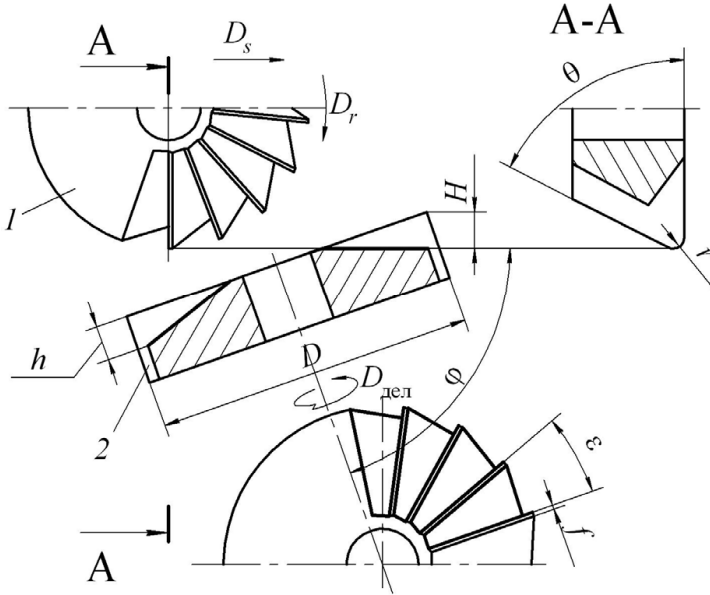


Рис. 4.20. Установка заготовки при фрезеровании стружечных канавок на торцевой поверхности: 1 – инструмент; 2 – заготовка

При наладке фрезерного станка рассчитывают угол наклона  $\varphi$  и глубину фрезерования  $H$  для получения заданной глубины стружечной канавки  $h$ .

Угол наклона оси делительной головки  $\varphi$  относительно направления продольной подачи (плоскости стола) определяется из соотношения

$$\cos\varphi = \operatorname{tge} \operatorname{ctg}\theta, \quad (4.6)$$

где  $\varepsilon = 360^\circ/Z$  – центральный угол между зубьями фрезы-заготовки.

Глубина фрезерования вычисляется по формуле

$$H = \frac{0,5D \sin\varepsilon - f}{\operatorname{tg}\theta \cdot \cos\varepsilon} - r(0,5\operatorname{ctg}\theta - 1). \quad (4.7)$$

При этом максимальная глубина стружечной канавки в осевом сечении заготовки будет составлять  $h = H / \sin\varphi$ .

#### 4.4.2. Фрезерование стружечных канавок на конической поверхности

Стружечные канавки на конической поверхности выполняют при изготовлении угловых фрез, зенковок, конических разверток и некоторых других инструментов.

Исходными данными для фрезерования канавок служат диаметр обрабатываемой заготовки  $D$ , угол конуса  $\beta$ , передний угол  $\gamma$ , угол профиля фрезеруемой канавки  $\theta$ , радиус закругления впадины стружечной канавки  $r$ .

Для наладки фрезерного станка рассчитывают угол наклона оси делительной головки относительно плоскости стола (рис. 4.21)

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2, \quad (4.8)$$

где  $\operatorname{tg} \varphi_1 = \operatorname{cose} \operatorname{ctg} \beta$ ,  $\sin \varphi_2 = \sin \varphi_1 \operatorname{tge} \operatorname{ctg} \theta$ .

Затем определяют глубину фрезерования

$$H = \frac{D \cos(\beta + \varphi)}{2 \cos \beta} \quad (4.9)$$

и проверяют глубину получаемой стружечной канавки по формуле

$$h = \frac{D \cos(\beta + \varphi)}{2 \cos \beta \cos \varphi}. \quad (4.10)$$

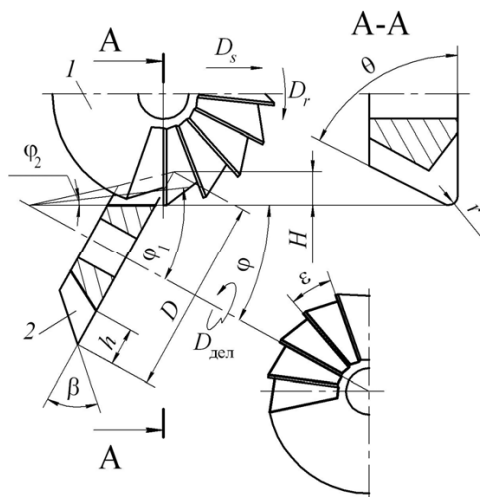


Рис. 4.21. Установка заготовки при фрезеровании конической поверхности:  
1 – инструмент; 2 – заготовка

#### 4.4.3. Фрезерование прямых стружечных канавок на цилиндрической поверхности

Стружечные канавки на цилиндрической поверхности выполняют при изготовлении сверл, зенкеров, разверток, концевых, червячных, фасонных фрез и других многолезвийных инструментов. Канавки на цилиндрической поверхности могут быть прямыми (параллельными оси вращения инструмента) или винтовыми. В первом случае применяют как одноугловые, так и двухугловые дисковые фрезы. Во втором случае используют только двухугловые или специальные фасонные (канавочные) фрезы. Это связано с тем, что для формообразования стружечной канавки без искажений радиус кривизны фрезы в сечении, перпендикулярном оси вращения, должен быть меньше радиуса кривизны обрабатываемой винтовой канавки. Кроме того, двухугловые фрезы имеют повышенную стойкость и обеспечивают лучшую шероховатость обработанной поверхности по сравнению с одноугловыми фрезами.

Исходными данными для настройки станка являются ширина фаски зуба  $f$  или глубина стружечной канавки (высота зуба)  $h$ , угол при вершине рабочей фрезы  $\theta$ , передний угол фрезеруемого зуба  $\gamma$ , диаметр заготовки  $D$ , радиус закругления впадины стружечной канавки  $r$ .

На основе этих данных определяют необходимые величины горизонтального  $E$  и вертикального  $H$  смещений рабочей фрезы после ее установки в начальное положение.

Установку рабочей фрезы в начальное положение относительно заготовки обеспечивают с помощью шаблонов или установочных оправок. Заготовку, установленную в патроне делительной головки, подводят к рабочей фрезе до касания. Затем стол фрезерного станка перемещают на величину  $E$  и поднимают на высоту  $H$ . Величины смещений  $H$  и  $E$  зависят от значения переднего угла  $\gamma$ , направления стружечных канавок, размера обрабатываемой канавки и других параметров (рис. 4.22).

**Обработка прямых канавок одноугловой фрезой** по заданной высоте зуба  $h$ . Из рис. 4.22, *a* видно, что при переднем угле  $\gamma = 0$  вертикальное смещение  $H$  рабочей фрезы-инструмента соответствует высоте зуба  $h$ , а горизонтальное составляет  $E = -r$ .

Если передний угол  $\gamma > 0$  (рис. 4.22, *б*), то величина горизонтального смещения  $E$  определяется как разность величин  $E_1$  и  $r$ .

Так как  $E_1 = 0,5D \sin \gamma$ , то, как видно из рис. 4.21, *б*,

$$E = E_1 - r = 0,5D \sin \gamma - r. \quad (4.11)$$

Величина вертикального смещения равна

$$H = h + x = h + 0,5D(1 - \cos\gamma). \quad (4.12)$$

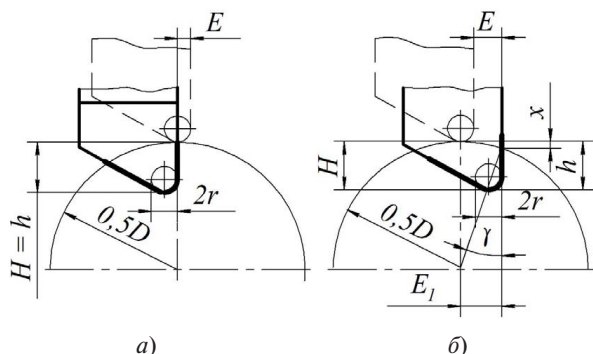


Рис. 4.22. Настройка одноугловой фрезы при заданной высоте зуба  $h$ : а) при  $\gamma = 0$ ; б) при  $\gamma > 0$ . (Пунктиром показано начальное положение фрезы)

**Обработка прямых канавок двухугловой фрезой** по заданной высоте зуба  $h$ . На рис. 4.23 показан эскиз фрезерования стружечной канавки двухугловой фрезой с углом профиля  $\theta$  и углом наклона  $\theta_1$  режущей кромки, обращенной к передней поверхности фрезы-заготовки.

Смещение фрезы-инструмента относительно фрезы-заготовки в горизонтальной плоскости

$$E = 0,5D \sin(\theta_1 + \gamma) - h \sin \theta_1 - r\sqrt{2} \sin(45^\circ - \theta_1), \quad (4.13)$$

а вертикальное смещение

$$H = 0,5D - 0,5D \cos(\theta_1 + \gamma) - h \cos \theta_1 - r[\sqrt{2} \cos(45^\circ - \theta_1) - 1]. \quad (4.14)$$

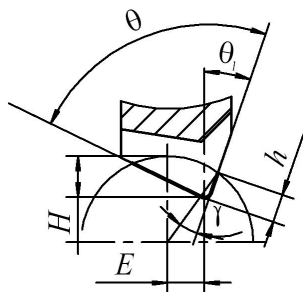


Рис. 4.23. Настройка двухугловой фрезы при заданной высоте зуба  $h$

#### 4.4.4. Обработка винтовых стружечных канавок на цилиндрических поверхностях

Настройка станка для фрезерования винтовых стружечных канавок имеет ряд особенностей. Шаг винтовой канавки  $T$ , задаваемый рабочим чертежом, определяется по формуле

$$T = \pi D \operatorname{ctg} \omega, \quad (4.15)$$

где  $\omega$  – угол между касательной к винтовой линии и осью заготовки, называемый углом наклона винтовой линии. Угол  $\omega$  зависит от текущего диаметра заготовки и у основания зуба он меньше, чем у вершины. Это изменение угла на операции фрезерования, как правило, не учитывают, и расчет ведут только по наружному диаметру заготовки  $D$ , так как после фрезерования следует окончательная операция заточки.

Номинально ось рабочей фрезы при фрезеровании винтовых канавок должна располагаться под углом  $\omega$  к оси заготовки (рис. 4.24). Однако для исключения подрезания зубьев, которое наблюдается при фрезеровании винтовых канавок с относительно большим углом наклона винтовой линии, и повышения качества обработки ось инструмента располагают под углом  $\omega_1$ , который находят из соотношения

$$\operatorname{tg}\omega_1 = \operatorname{tg}\omega \cos(\theta_1 + \gamma). \quad (4.16)$$

В практике с достаточной степенью точности значение угла  $\omega_1$  принимают равным  $\omega_1 = \omega \pm (3^\circ \dots 5^\circ)$ .

Поворот рабочей фрезы на угол  $\omega_1$  осуществляют после ее установки относительно линии центров делительной головки и смещения на величины  $E$  и  $H$  для получения заданного переднего угла  $\gamma$  и высоты  $h$  зуба инструмента.

Винтовые канавки фрезеруют двухугловыми или фасонными фрезами. Для формообразования без искажений радиус кривизны фрезы в любом сечении, перпендикулярном ее оси, должен быть меньше радиуса кривизны обрабатываемой стружечной канавки в этом же сечении.

При фрезеровании винтовых канавок двухугловой фрезой формулы для расчета вертикального  $H$  и горизонтального  $E$  смещений учитывают угол  $\omega_1$  и имеют вид

$$E = [0,5D \sin(\theta_1 + \gamma) - h \sin \theta_1 - r\sqrt{2} \sin(45^\circ - \theta_1)] \cos \omega_1; \quad (4.17)$$

$$H = \{0,5D - (0,5D \cos(\theta_1 + \gamma) - h \cos \theta_1) - r[\sqrt{2} \cos(45^\circ - \theta_1) - 1]\} \cos \omega_1. \quad (4.18)$$

Фрезерование винтовой канавки на цилиндрической поверхности требует согласования вращательного движения заготовки с продольным перемещением стола (рис. 4.24). Такие взаимосвязанные движения на фрезерных или фрезерно-токарных станках с ЧПУ обеспечиваются перемещением вдоль оси заготовки по управляемой координате  $X$  и управляемым поворотом  $A$  (рис. 4.6, 4.7). Наглядно согласование вращательного и поступательного движений можно рассмотреть на примере наладки универсального фрезерного станка (рис. 4.24). Чтобы обеспечить заданный чертежом детали шаг винто-

вой канавки, выходной вал 1 делительной головки 4, на котором устанавливают патрон 2 с заготовкой 3, связывают с вращением ходового винта 5 вертикального перемещения стола с помощью двухпарной гитары 6 сменных зубчатых колес  $z_1-z_4$ , т. е. выдерживают соотношение

$$\frac{N \cdot t_B}{T} = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} = i, \quad (4.19)$$

где  $i$  – передаточное отношение сменных колес гитары;  $N = 40$  – характеристика делительной головки;  $t_B$  – шаг ходового винта вертикального перемещения стола станка.

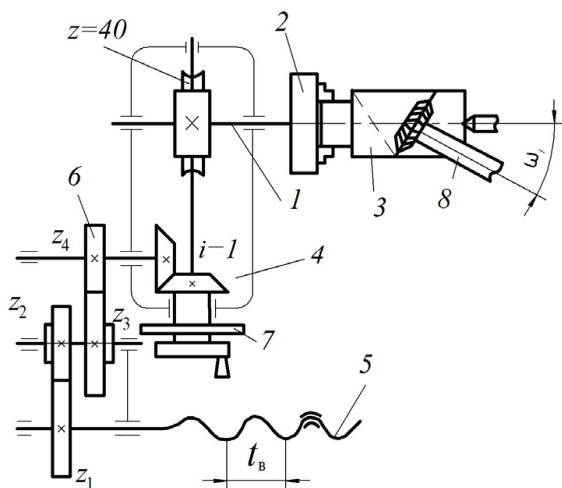


Рис. 4.24. Схема фрезерования винтовой канавки

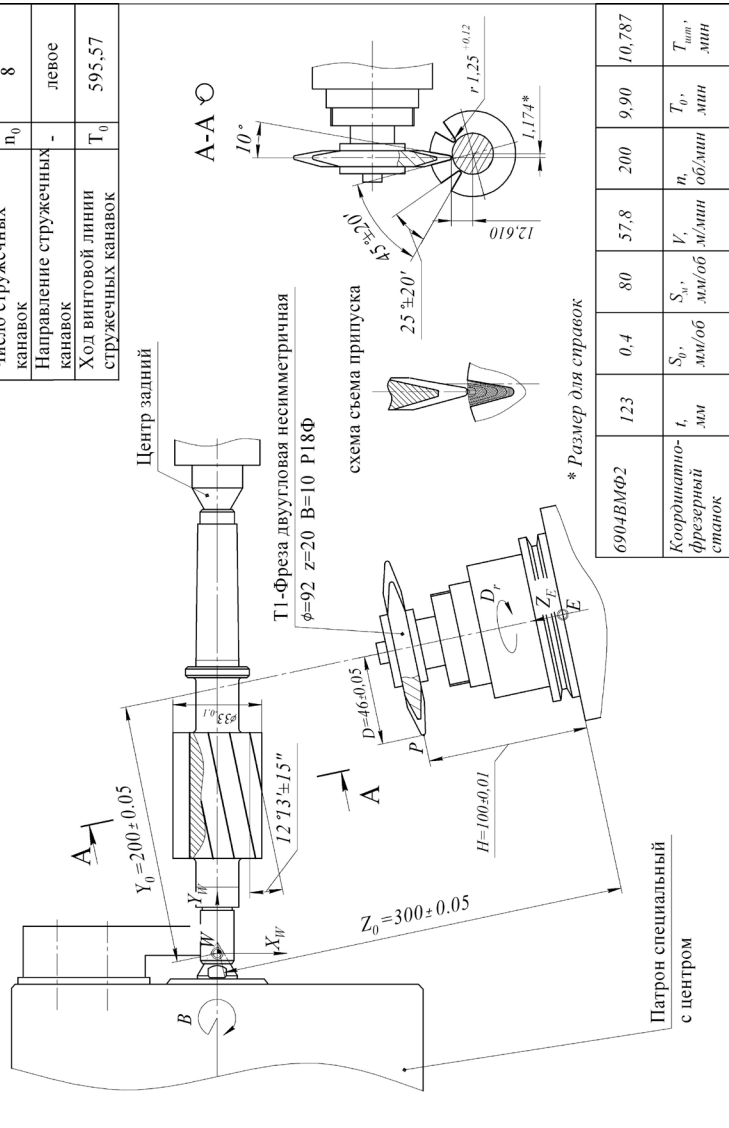
Головку 8 фрезерного станка разворачивают на угол  $\omega_1$  относительно оси вращения заготовки 3. После фрезерования первой стружечной канавки отключают гитару сменных колес 6 от делительной головки за счет конической шестерни и с помощью делительного диска 7 поворачивают заготовку на угол  $360^\circ/Z$ . После выполнения деления вновь подключают гитару сменных колес и фрезеруют следующую канавку.

На рис. 4.25 приведен пример технологической наладки операции фрезерования стружечных канавок на заготовке хвостовой червячной фрезы двухугловой фрезой.

# Фрезерная

▽ Ra 3,2

Число стружечных канавок	$n_0$	8
Направление стружечных канавок	-	левое
Ход винтовой линии стружечных канавок	$T_0$	595,57



6904ВМФ2	123	0,4	80	57,8	200	9,90	10,787
Координатно-фрезерный станок	$t_c$	мм/об	$S_{D_0}$	мм/об	$V_c$	$n$	$T_{D_0}$
			мм/об	мм/об	м/мин	об/мин	мин

Рис. 4.25. Пример технологической наладки при фрезеровании стружечной канавки



В крупносерийном производстве применяют многошпиндельные делительные приспособления сразу на три-четыре заготовки, а также фрезерные станки-полуавтоматы и автоматы, которые обеспечивают одновременное фрезерование стружечной канавки и затылков и у которых движение деления, подвод и отвод инструмента производятся автоматически.

В заключение укажем, что основные правила расчета смещения  $H$  и  $E$  фрез справедливы и для операций последующего шлифования стружечных канавок.

#### 4.5. Операции затылования инструмента

*Затылование* – операция, характерная только для инструментального производства. В результате ее выполнения на зубьях режущего инструмента формируется задняя поверхность, которая обеспечивает постоянство профиля зуба и величину заднего угла в радиальном сечении при заточках инструмента по передней поверхности.

На операциях затылования применяют затыловочные станки как с аналоговой системой управления от затыловочного кулачка особой формы, так и станки с ЧПУ. В настоящее время производство станков с аналоговой системой управления сокращается в пользу увеличения выпуска соответствующего оборудования, оснащенного системами программного управления.

Так как, независимо от системы управления, затылование производится в результате сложения вращательного движения заготовки и возвратно-поступательного движения инструмента, далее рассмотрим процесс затылования на токарно-затыловочном станке с аналоговой системой управления от затыловочного кулачка.

На рис. 4.26 показана принципиальная схема затылования дисковой фрезы.

Токарный затыловочный резец  $1$  (рис. 4.26) совершает возвратно-поступательное движение при вращении кулачка  $2$  с определенной частотой  $n$ . Форма кулачка должна обеспечить за один его оборот подачу суппорта с токарным резцом для обработки задней поверхности на зубе и его отвод от заготовки. Кулачок по периметру разделяется на рабочий участок  $ABCDE$ , на котором производится подвод суппорта с резцом и снятие припуска, и нерабочий  $EA$  (отвод суппорта с резцом). Рабочий участок кулачка имеет форму архимедовой спирали, а нерабочий – произвольную плавную кривую. Соотношение длин обоих

участков зависит от соотношения ширины зуба и впадины. Обычно применяют кулачки с центральным углом  $\varepsilon$  нерабочей части  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  или  $60^\circ$ . С увеличением величины угла  $\varepsilon$  улучшаются условия выхода реза в исходное положение.

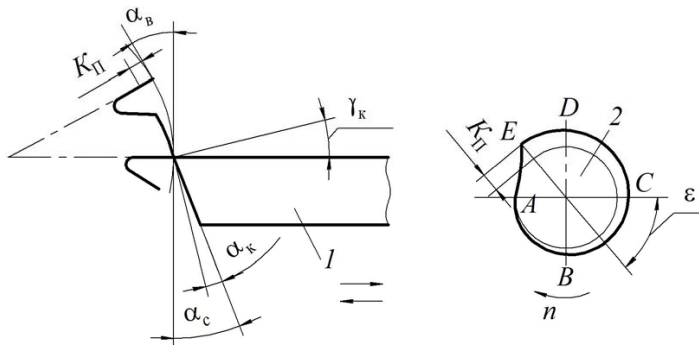


Рис. 4.26. Принципиальная схема затылования дисковой фрезы

Фасонные резцы для затылования могут быть стержневыми или круглыми. Режущая кромка резцов имеет профиль, обратный профилю затылуемой детали.

Затыловочные резцы должны иметь увеличенный (по сравнению с обычным резцом) статический задний угол  $\alpha_c = 20...30^\circ$ , так как радиальное движение затылования, образующее задний угол  $\alpha_B$  заготовки фрезы, уменьшает кинематический задний угол  $\alpha_K$  и кинематический передний угол  $\gamma_K$  в процессе обработки (рис. 4.26). Установка резцов в резцедержателе должна производиться так, чтобы их вершина находилась на  $0,1...0,2$  мм ниже уровня центров (обеспечивается увеличение угла  $\alpha_c$ ), а вылет резца должен быть минимальным из-за значительных ударных нагрузок.

Токарно-затыловочная операция относится к операциям предварительной обработки. На последующей шлифовально-затыловочной операции обработка производится шлифовальным кругом. Для обеспечения выхода шлифовального круга из контакта с поверхностью зуба и предотвращения подрезания следующего зуба на токарно-затыловочной операции производят двойное затылование (рис. 4.27). Нерабочую заднюю поверхность зуба на  $0,3...0,5$  его длины затылуют резцом с увеличенной величиной падения затылка  $K_{П_1}$ , применяя затыловочный кулачок комбинированной формы рабочего участка  $ABCDE$  (рис. 4.26).

Затыловочные станки имеют, как правило, исполнение повышенной точности и различную степень автоматизации. Станки подразделяются на токарно-затыловочные и шлифовально-затыловочные.

Универсальные токарно-затыловочные станки, например, отечественные 1Е811 и 1Е812, а также станки фирм Reinecker, Klingelberg (Германия) и др., предназначены для затылования зубьев инструментов как с прямыми, так и с винтовыми стружечными канавками, когда требуется высокая точность размеров по шагу (при обработке червячных фрез). Станки имеют ходовой винт и поворотный затыловочный суппорт.

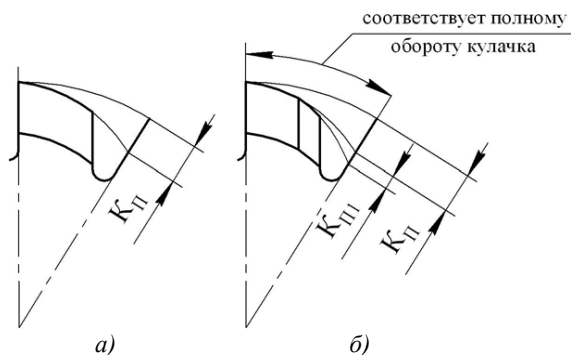


Рис. 4.27. Форма зуба: а) с одинарным затылованием; б) с двойным затылованием

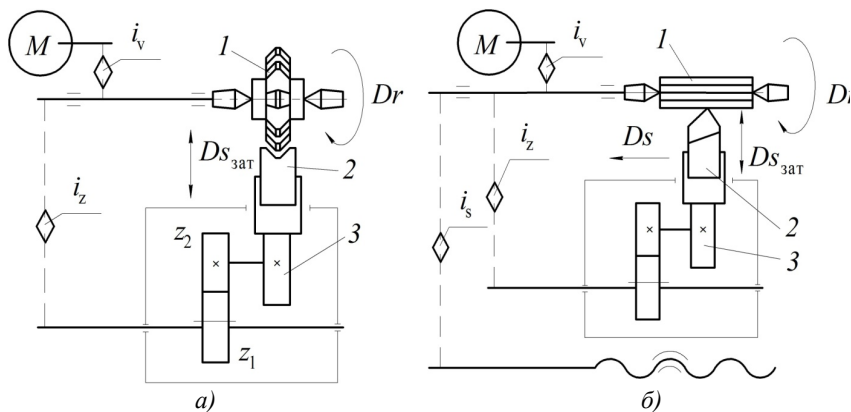


Рис. 4.28. Кинематическая схема затылования дисковой фасонной фрезы (а) и цилиндрической фрезы с прямыми канавками (б): 1 – заготовка; 2 – резец; 3 – кулачок

На рис. 4.28 показаны кинематические схемы затыловочных станков, настроенных для затылования дисковых фрез (рис. 4.28,а), а также цилиндрических и червячных фрез (рис. 4.28,б). Цепь главного движения  $i_v$  осуществляет вращение шпинделя с затылуемой заготовкой. Цепь затылования  $i_z$  обеспечивает согласованное вращение шпинделя и кулачка. Цепь радиальной подачи осуществляет перемещение суппорта с резцом в радиальном направлении на глубину резания за один оборот шпинделя. При затыловании цилиндрических и червячных фрез дополнительно осуществляется продольная подача  $S_{пр}$ .

Величина затылования задается значением заднего угла при вершине зуба  $\alpha_0$  или падением затылка

$$K_{п} = \frac{\pi D}{Z} \operatorname{tg} \alpha_0, \quad (4.20)$$

где  $D$  и  $Z$  – соответственно диаметр и число зубьев затылуемого инструмента.

Падение затылка определяется расстоянием между наружным диаметром фрезы и затылованной поверхностью, измеренным по передней поверхности следующего зуба (рис. 4.27,а).

На боковых участках профиля, неперпендикулярных оси вращения заготовки, величина падения затылка равна

$$K_6 = \frac{\pi D}{Z} (\sin \varphi_k \cos \psi + \sin \psi), \quad (4.21)$$

где  $\varphi_k$  – угол между плоскостью, касательной к режущей кромке зуба в данной точке, и плоскостью, перпендикулярной оси вращения заготовки;  $\psi$  – угол поворота суппорта затыловочного станка.

Угол  $\varphi_k$  составляет соответственно  $90^\circ$  и  $0^\circ$  для режущих кромок, параллельных и перпендикулярных оси вращения заготовки. В первом случае применяют *радиальное*, а во втором – *осевое* затылование. Во всех других случаях производится *угловое* затылование под некоторым углом  $\psi$  к оси затылуемого инструмента (рис. 4.29).

Обычно одним резцом обрабатывают одновременно боковую сторону и вершину контура заготовки (рис. 4.30). Если условием затылования является равенство падений затылков на вершине и боковой стороне профиля ( $K_6 = K_{п}$ ), то угол поворота суппорта определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\operatorname{tg} \alpha_0}{\operatorname{tg} \alpha_0 \cos \varphi_k} - \operatorname{tg} \varphi_k. \quad (4.22)$$

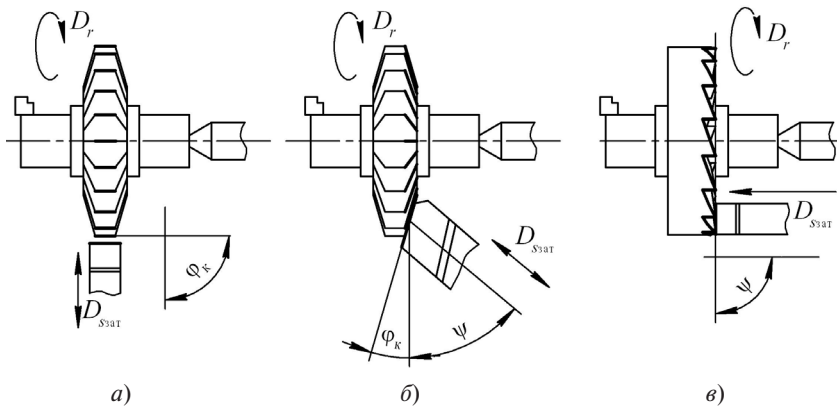


Рис. 4.29. Схемы затылования: а) радиальное; б) угловое; в) осевое

Если необходимо выдержать равенство задних углов при вершине  $\alpha_{\text{в}}$  и на боковой стороне  $\alpha_{\text{б}}$  профиля ( $\alpha_{\text{б}} = \alpha_{\text{в}}$ ), то угол поворота суппорта определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1 + \sin \varphi_{\text{к}}}{\cos \varphi_{\text{к}}}, \quad (4.23)$$

а падение затылка в некоторой точке  $M$  боковой стороны профиля (рис. 4.30)

$$K_{\text{бм}} = \frac{\pi D_{\text{м}} \operatorname{tg} \alpha_{\text{б}}}{Z \sin \varphi_{\text{к}}}, \quad (4.24)$$

где  $D_{\text{м}}$  – диаметр затылуемой фрезы в точке  $M$ .

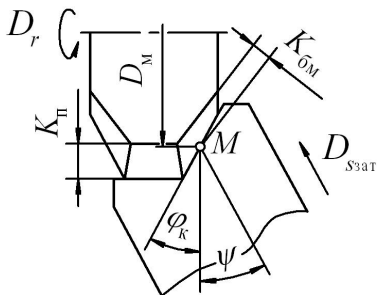


Рис. 4.30. Схема одновременного затылования двух поверхностей

Режим резания на операциях затылования значительно ниже, чем при обычной токарной обработке тел вращения. Это обусловлено ограничением скорости возвратно-поступательного движения резца из-за значительной инерционности технологической системы. Частота вращения заготовки поэтому назначается исходя из условия – не более 120 движений резца в минуту. Например, при

радиальном затыловании червячных фрез фасонным резцом скорость резания составляет всего 1...6 м/мин. Поперечная подача при черновом

затыловании не превышает 0,5 мм/об. При токарном затыловании оставляют припуск на последующую шлифовально-затыловочную операцию в пределах 0,15...0,4 мм в зависимости от размера профиля затылуемой заготовки.

После токарного затылования незакаленных заготовок шероховатость обработанной поверхности обычно составляет  $Ra$  2,5...5,0 мкм.

#### **4.6. Электрофизические и электрохимические методы формообразования поверхностей**

Под общим названием «электрофизические и электрохимические методы обработки» объединены технологии, отличающиеся от механической обработки резанием или давлением непосредственным воздействием на обрабатываемую поверхность электрической энергии или явлений, ею создаваемых.

Большинство таких технологий реализуются с помощью:

- теплового воздействия электрического тока (электроэрозионная обработка);
- химического воздействия электрического тока (электрохимическая обработка);
- комбинации вышеназванных воздействий с механической обработкой (анодно-механическая обработка, электрохимическое шлифование, заточка и правка шлифовальных кругов; электроэрозионное шлифование и правка шлифовальных кругов и пр.).

По сравнению с операциями обработки резанием электроэрозионные и электрохимические методы имеют следующие преимущества:

- широкие технологические возможности изменения формы, размеров, шероховатости и свойств заготовок из токопроводящих материалов;
- малую зависимость основных показателей процесса обработки от физико-механических свойств инструмента, в частности от его твердости;
- сокращение расхода дорогостоящих инструментальных материалов из быстрорежущих сталей, твердого сплава и СТМ.

Наиболее очевидные преимущества электроэрозионные и электрохимические методы проявляют при размерной обработке материалов с высокой твердостью и прочностью, трудно поддающихся обработке точением, фрезерованием, шлифованием и т. д., особенно при необходимости получения сложных 2D и 3D-профилей.

*Электроэрозионная обработка (ЭЭО)* основана на действии электрических разрядов между двумя электродами в рабочей жидкости – диэлектрике. При сближении электрода-инструмента с электродом-заготовкой до критического межэлектродного зазора между ними возникает электрический разряд в виде узкого проводящего канала, в котором образуется плазма с температурой несколько тысяч градусов. Возникающей в процессе кратковременных периодических импульсов тепловой энергии оказывается достаточно, чтобы довести до расплавления и даже до испарения металл электрода-заготовки на локальном участке действия этих импульсов. Динамическое воздействие плазмы на этот локальный участок способствует выбросу микрочастиц расплавленного металла в диэлектрическую жидкую среду и его выпадению в осадок.

ЭЭО может выполняться при прямой или обратной полярности. Частота электрических импульсов составляет от 0,4 до 400 кГц. При рациональных сочетаниях мощности и частоты импульсов достигается относительно высокая производительность обработки, причем износ электрода-инструмента (анода) составляет 0,05...0,3% от объема металла, удаленного с электрода-заготовки. За счет увеличения частоты импульсов и снижения мощности разряда можно уменьшить шероховатость обработанной поверхности заготовки до Ra 0,2 мкм.

В качестве рабочих жидкостей используют индустриальное масло, керосин и даже дистиллированную воду. Электроды-инструменты изготавливают из токопроводящих материалов: меди, латуни и др.

Производительность ЭЭО зависит от электроэрозионной обрабатываемости материалов, относительные значения которой приведены в табл. 4.9, а также от режима обработки: энергии, длительности и частоты импульсов, кинематики станка и свойств рабочей жидкости.

Таблица 4.9

Относительная обрабатываемость материалов при ЭЭО [20]

Материал	Обрабатываемость
Магний	6,0
Алюминий	4,0
Латунь	1,6
Медь	1,1
Никель	0,8
Титан	0,6
Твердый сплав	0,5
Сталь	0,3

В инструментальном производстве нашли применение две технологические разновидности ЭЭО: прошивочная и вырезная.

*Прошивочные операции* выполняют на копировально-прошивочных станках, оснащенных системой ЧПУ. Станки работают в автоматическом режиме, обладают значительной универсальностью и способны с относительно высокой производительностью, точностью и низкой шероховатостью обрабатывать заготовки из материалов, которые трудно обрабатываются резанием (твердый сплав, закаленная легированная сталь и т. п.).

На рис. 4.31 показана принципиальная схема прошивочной обработки сложнопрофильной поверхности заготовки.

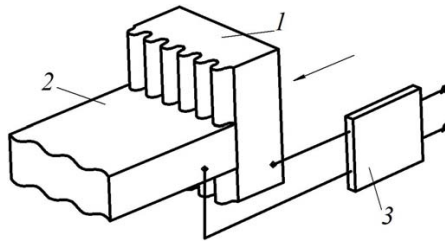


Рис. 4.31. Принципиальная схема ЭЭО прошиванием сложнопрофильной поверхности: 1 – профильный электрод; 2 – заготовка; 3 – генератор импульсов

Обработка производится методом копирования с помощью электрода-инструмента *1*, имеющего профиль рабочей поверхности зеркальный требуемому профилю детали. Электрод *1* и заготовка *2* связаны в электрическую цепь с генератором импульсов *3*. Причем электрод в процессе электроэрозионного процесса обработки по мере снятия припуска с заготовки перемещается поступательно, поддерживая постоянный межэлектродный зазор с заготовкой *2*. Процесс ЭЭО происходит в рабочей жидкости – диэлектрике. Для интенсификации обработки электрод может совершать дополнительные высокочастотные колебания.

Прошивочные операции находят применение при обработке сложнопрофильных 3D-поверхностей, например, формообразующих деталей штампов и пресс-форм.

В России производят электроэрозионные копировально-прошивочные станки, в том числе с ЧПУ – модели 4Л723Ф3-01, 4420Ф11, 4Л723Ф3-02 и др.



*Вырезная операция* отличается от прошивочной тем, что электродом-инструментом служит тонкая, диаметром 0,2...0,3 мм, проволока 1 (рис. 4.32), которая медленно протягивается через рабочую зону электроэрозионного процесса с подающей 2 на приемную 5 катушки. Зона обработки погружена в жидкость-диэлектрик. В результате действия электрических разрядов при посредстве генератора импульсов 4 между электродом-проволокой 1 и электродом-заготовкой 3 происходит процесс ЭЭО. При управляемом перемещении электрода 1 в горизонтальной плоскости по осям  $X$  и  $Z$  на заготовке 3 образуется рез, ширина которого зависит от диаметра проволоки, а форма – от траектории, задаваемой управляющей программой станка.

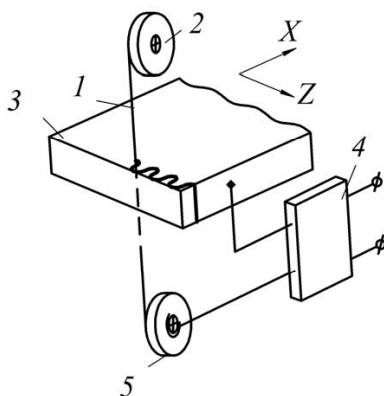


Рис. 4.32. Принципиальная схема вырезной операции ЭЭО:

- 1 – проволока-электрод;
- 2, 5 – подающая и приемная катушки;
- 3 – заготовка;
- 4 – генератор импульсов

Вырезные операции находят все более широкое применение в современном инструментальном производстве для получения деталей сложного профиля, например фасонных стержневых резцов. Достижимая точность и шероховатость обработки при вырезной ЭЭО на современных электроэрозионных станках с ЧПУ позволяет исключить последующие операции профильного шлифования и заточки.

В России производят электроэрозионные вырезные станки, в том числе оснащенные ЧПУ: ЭИ250Ф4, ВЭСТ-242-5, ЭИ250-4 и др.

Принцип *электрохимической обработки* (ЭХО) основан на электролизе, в процессе которого происходит анодное растворение электрода-заготовки в токопроводящей рабочей жидкости. Через зазор между заготовкой-анодом и инструментом-катодом (от 5 до 500 мкм) прокачивают рабочую жидкость – электролит. В результате растворения металла на заготовке формируется достаточно точное зеркальное отображение электрода-инструмента.

С помощью ЭХО, например на станке мод. 4420Ф11, в заготовках можно выполнять отверстия, пазы и полости любой формы. ЭХО применяется при изготовлении штампов, пресс-форм, при обработке

отверстий, щелей и пазов в пластинах, успешно заменяя профильное фрезерование. Метод позволяет обрабатывать любые металлы и сплавы, независимо от их физико-механических свойств. Метод ЭХО обладает широкими технологическими возможностями и может использоваться не только на формообразующих операциях. Например, в производстве широко применяют электрохимическую маркировку готовой продукции или полирование поверхностей любой конфигурации.

В качестве рабочей жидкости при ЭХО используют водные растворы солей, кислот и щелочей. Например, для обработки твердых сплавов и инструментальных сталей применяют комплексные составы, содержащие  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaOH}$  и  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Электроды-инструменты изготавливают из стали, меди, латуни и медно-графитовой смеси.

*Комбинированные методы* электрохимической и механической обработки основаны на использовании ЭЭО или ЭХО с одновременным дополнительным механическим воздействием на обрабатываемую поверхность электрода-заготовки режущим инструментом.

К этой группе методов относятся анодно-механическая обработка, электрохимическое шлифование и заточка, электрохимическое абразивное полирование и др. Так, процесс электрохимического шлифования или заточки режущего инструмента сопровождается анодным растворением участка обрабатываемой поверхности и переходом инструментального материала в ионное состояние в виде солей или гидроокисей, имеющих низкую твердость. Образующиеся продукты электролиза сравнительно легко удаляются шлифовальным кругом с токопроводящей металлической связкой, выполняющим роль электрода-инструмента.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. В чем заключается основное отличие обработки заготовок на станках с гидрокопировальным суппортом и станках с ЧПУ?
2. При изготовлении каких инструментов необходимо выполнение резьбообразующих операций?
3. Зачем необходимо обеспечивать наклон оси заготовки фрезы под углом относительно стола фрезерного станка при фрезеровании стружечных канавок на торцовой и конической поверхностях?
4. Почему винтовые стружечные канавки фрезеруют двухугловой фрезой?
5. Зачем при фрезеровании стружечных канавок необходим расчет горизонтального и вертикального смещений фрезы-инструмента?

6. С помощью какого приспособления обеспечивается взаимосвязанное вращательное и поступательное движение заготовки при фрезеровании винтовых и стружечных канавок?
7. Как и с какой целью обеспечивается движение деления заготовок при фрезеровании стружечных канавок?
8. Назначение операций затылования режущего инструмента. Оборудование и оснастка.
9. В каких случаях применяют угловое, радиальное и осевое затылование?
10. Почему затыловочный резец имеет увеличенные задние углы?
11. Как обеспечить равенство задних углов на вершине и боковых сторонах зуба фрезы?
12. На каких участках режущей кромки фасонного режущего инструмента при его радиальном затыловании образуется задний угол, равный нулю градусов?
13. Почему скорость резания при затыловании режущего инструмента значительно меньше, чем при точении?
14. Назовите основные преимущества электроэрозионной и электрохимической обработки перед обработкой резанием.

## Глава 5. ОПЕРАЦИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

### 5.1. Диаграмма состояния железо–углерод

Операции термической обработки заготовок рассматривают как один из важнейших этапов технологического маршрута изготовления инструмента.

Термическая обработка заключается в последовательном нагреве до определенной температуры, выдержке и охлаждении (рис. 5.1) стальных заготовок с целью изменения их структуры и напряженного состояния, а также формирования заданных физико-механических и технологических свойств – твердости, прочности, износостойкости, обрабатываемости и др.

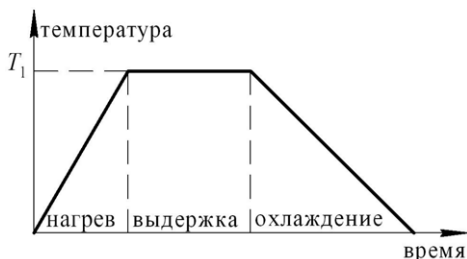


Рис. 5.1. Циклограмма термической обработки

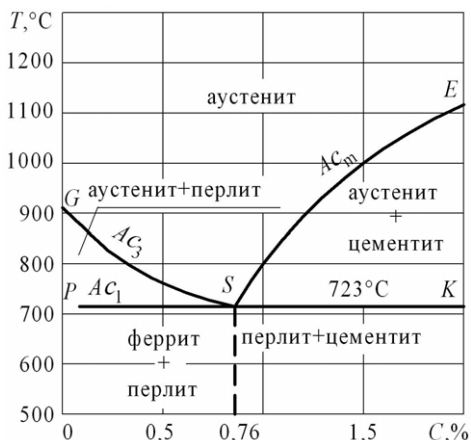


Рис. 5.2. Диаграмма состояния Fe–C

Выбор режима термообработки для получения указанных свойств металла основан на анализе диаграммы состояния железо–углерод (рис. 5.2).

Углерод (до 2,14%) в стали находится в виде твердых растворов в  $\alpha$ - и  $\gamma$ -железе [27], различающихся формой кристаллической решетки. Твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе называется *ферритом* ( $\alpha$ -Fe), а аналогичный раствор углерода в  $\gamma$ -железе – *аустенитом* ( $\gamma$ -Fe).  $\alpha$ -Fe и  $\gamma$ -Fe представляют собой мягкие и пластичные фазы в структуре стали. Кроме указанных фаз в стали при различных условиях могут содержаться другие структуры:

$\alpha$ -Fe и  $\gamma$ -Fe представляют собой мягкие и пластичные фазы в структуре стали. Кроме указанных фаз в стали при различных условиях могут содержаться другие структуры:

цементит — химическое соединение углерода с железом ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) и перлит — смесь феррита с цементитом.

Для термической обработки стали важно определить температурно-скоростной режим, при котором происходит фазовое превращение аустенита в мартенсит и другие структуры.

Мартенсит, представляющий твердый пересыщенный раствор углерода в  $\gamma\text{-Fe}$ , имеет значительно более высокую твердость по сравнению с аустенитом.

Согласно диаграмме состояния  $\text{Fe—C}$  определяющее значение при термообработке имеют критические точки  $A_1$  и  $A_3$  (их обозначают  $A_{c1}$  и  $A_{c3}$  при нагреве и  $A_{r1}$  и  $A_{r3}$  при охлаждении). Нижняя критическая точка  $A_1$  находится на линии  $PSK$  диаграммы (рис. 5.2). Эта линия соответствует температуре эвтектического равновесия  $723^\circ\text{C}$ . Верхняя критическая точка  $A_3$  располагается на линии  $GSE$ . Участок  $GS$  этой линии является верхней границей равновесия  $\alpha$ - и  $\gamma$ -железа. При нагреве начинается выпадение  $\gamma$ -фазы, а при охлаждении  $\gamma$ -фаза переходит в  $\alpha$ -фазу. Участок  $SE$  характеризует начало выпадения карбидов из  $\gamma\text{-Fe}$  для заэвтектоидных сталей. Именно участком  $SE$  определяются условия термообработки заэвтектоидных быстрорежущих сталей (содержание углерода более 0,76%).

Результатом термической обработки быстрорежущих сталей является получение мартенситной структуры, содержащей твердые частицы карбидов легирующих металлов. Многие легирующие металлы ( $\text{Ti}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Ta}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{W}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Fe}$ ) образуют с углеродом соединения, называемые карбидом (элементы указаны в порядке уменьшения их карбидообразующих свойств). Наличие карбидов металлов в стали, так же как и ее мартенситная структура, существенно изменяет ее свойства. Так, наличие карбидов в быстрорежущей стали во многом обеспечивает ее высокую твердость и теплоустойчивость, получаемую после закалки.

Наиболее важными операциями термической обработки при изготовлении инструмента являются отжиг, закалка и отпуск. Правильный выбор указанных операций обеспечивает получение заданных технологических и физико-механических свойств инструментального материала.

## 5.2. Операция отжига заготовок

*Отжиг* — это операция предварительной термической обработки, используемая для снижения твердости заготовок после горячей обработки: сварки,ковки, штамповки или прокатки. Операция заключается в нагреве стали выше точки  $A_{c1}$  с последующим медленным охлаждением. В результате отжига происходит полная внутренняя перекристаллизация металла, его структура получается более равномерной, уменьшаются внутренние напряжения.

Основными элементами режима операции отжига являются температура, скорость нагрева, продолжительность выдержки, а также скорость охлаждения в определенном интервале температур. Основные виды этой операции — отжиг с непрерывным охлаждением и изотермический отжиг.

*Отжиг с непрерывным охлаждением* производится в камерных, шахтных или конвейерных печах, имеющих системы управления нагревом и охлаждением. Предпочтительным является проведение отжига в защитной атмосфере, предохраняющей заготовки от обезуглероживания и образования окалины. В открытом виде нагревают преимущественно поковки и другие заготовки, имеющие значительный припуск на механическую обработку.

Заготовку нагревают до определенной температуры  $T_1$  (рис. 5.1), зависящей от химического состава стали и находящейся выше точки  $A_{c1}$ , и выдерживают некоторое время до ее полного прогрева. Затем проводят медленное охлаждение заготовки со скоростью 10...50 град/час до температуры 500...600° С. После этого охлаждение может происходить не в печи, а на открытом воздухе.

*Изотермический отжиг* выполняют перед повторной закалкой заготовок, не получивших в результате ее проведения необходимых физико-механических свойств, а также для получения структуры, обеспечивающей повышение пластичности или обрабатываемости материала резанием. При изотермическом отжиге также производится нагрев заготовки до температуры  $T_1$ , выдержка и медленное охлаждение со скоростью 25...50 град/час, после чего осуществляется вторая выдержка при температуре  $T_2 < T_1$ , повторное охлаждение вместе с печью до 500...600° С и последующее охлаждение на воздухе.

В табл. 5.1 приведены режимы термической обработки стали при отжиге заготовок инструмента [27].

## Режим отжига инструментальных сталей

Опера-ция	Марка стали	Нагрев		Изотермическая выдержка		Скорость охлаждения, град/час
		температура $T_1$ , °С	время, час	температура $T_2$ , °С	время, час	
Отжиг с непрерывным охлаждением	У12	766...780	2...3	—	—	≤ 50
	ХВГ 9ХС	770...780 790...810	2...3	—	—	≤ 50
	Р18, Р9, Р6М5	850...870	2...3	—	—	≤ 30
	Р10Ф5М3 Р6М5К5 Р12Ф3К5	860...880	2...3	—	—	≤ 25
Изотермический отжиг	У12	766...780	1...2	680...700	1...2	≤ 50
	ХВГ 9ХС	770...780 790...810	1...2	700...720	3...4	≤ 50
	Р18, Р9, Р6М5	850...870	1...2	730...750	4...6	≤ 30
	Р10Ф5М3 Р6М5К5 Р12Ф3К5	860...880	1...2	740...750	6...8	≤ 25

### 5.3. Операции основной термической обработки

Основная термическая обработка заключается в последовательном выполнении операций закалки и отпуска заготовок.

*Закалка* — наиболее ответственная операция термической обработки. Закалка вместе с отпуском обеспечивает заданную твердость, прочность, износостойкость и теплостойкость режущего инструмента. Это достигается путем аустенизации стали при нагреве, выдержке и охлаждении, в результате которых образуется мартенситная структура.

*Отпуск* — операция нагрева, выдержки и охлаждения закаленной стали при температуре ниже точки  $A_c$ . При отпуске происходит выделение и коагуляция дисперсных карбидов. Остаточный аустенит, находящийся в металле после закалки, частично превращается в мартенсит. Снимаются внутренние напряжения, связанные с фазовым переходом аустенита в мартенсит. Циклограмма термической обработки, содержащей операции закалки и отпуска стали, приведена на рис. 5.3.

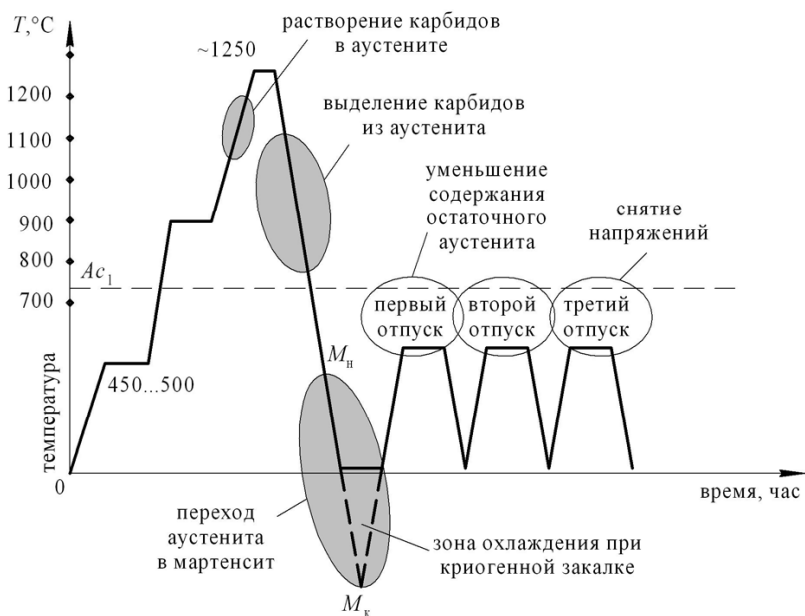


Рис. 5.3. Циклограмма операции технической обработки

Окончательная мартенситная структура закаленной стали выявляется только в результате операции *отпуска*, проводимой после закалки. Кроме мартенсита, в структуре быстрорежущей стали содержатся высокотвердые карбиды легирующих металлов. Именно наличие мартенсита и карбидов определяет эксплуатационные свойства режущего инструмента, в частности, его теплостойкость и твердость.

При нагреве углеродистой инструментальной стали до 200° С (при термической обработке или в процессе резания) частицы мартенсита сохраняют устойчивое мелкодисперсное состояние, и заметного снижения твердости материала не наблюдается. Этой температурой определяется теплостойкость углеродистой стали. При дальнейшем повышении температуры из мартенсита начинает выделяться твердый компонент – *цементит* ( $Fe_3C$ ). Твердость стали снижается и в итоге становится равной ее твердости в отожженном состоянии.

Повышенная теплостойкость быстрорежущей стали обеспечивается ее легированием карбидообразующими элементами – вольфрамом, молибденом, ванадием, а также хромом и кобальтом. Из-за высокого содержания этих элементов процесс распада мартенсита



в быстрорежущих сталях происходит при более высоких температурах. Практически весь углерод быстрорежущих сталей связан с легирующими элементами, а карбиды вольфрама, молибдена и ванадия выделяются из мартенсита и коагулируют при температурах 500...600° С. При дальнейшем нагреве инструментального материала до уровня закалочных температур (выше линии *GSE*, рис. 5.2) его структура становится устойчивым аустенитом, в котором растворены коагулированные карбиды (рис. 5.3). В результате мартенсит, полученный при закалке из легированного аустенита, также является легированным.

Для получения устойчивого и высоколегированного мартенсита быстрорежущую сталь, впрочем как и любую инструментальную сталь, необходимо нагревать до определенных температур. Так, температура нагрева под закалку должна превышать на 20° С значение  $A_{c3}$  для доэвтектоидных сталей (35, 45, 40X, У7 и др.), к которым относят большинство конструкционных сталей, и температуру  $A_{c1}$  для заэвтектоидных сталей (У10, У12, 9ХС, ХВГ и др.). Для быстрорежущих сталей, имеющих повышенное содержание карбидообразующих элементов, температура нагрева должна быть еще более высокой и превышать  $A_{cm}$  (линия *SE*, рис. 5.2). Конкретное значение закалочных температур зависит от химического состава стали (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Температура нагрева стали при закалке [27]

Марка стали	$T, ^\circ\text{C}$
Сталь 35	850...860
Сталь 40	810...820
Сталь 40X	840...850
У7	800...820
У10, У12	790...810
9ХС	860...880
ХВГ	830...850
Р18	1270...1290
Р9	1220...1240
Р6М5	1210...1230
Р12Ф3	1240...1260
Р6М5К5	1220...1240
Р6К10Ф3М4	1230...1250

Важными факторами, влияющими на качество изготовленного инструмента, являются размер зерна аустенита при нагреве и содер-

жание остаточного аустенита в объеме металла при охлаждении. Превышение установленных значений температуры нагрева ведет к росту аустенитных зерен, что негативно отражается на прочности закаленной стали. Например, сталь У8 с баллом зерна аустенита 10–11 имеет предел прочности 2000 МПа, а с баллом 8–9 всего лишь 1100 МПа. Размер зерна аустенита оказывает влияние и на теплостойкость стали, которая возрастает с увеличением размера зерна. При изготовлении инструмента придерживаются следующих рекомендаций (напомним, что с увеличением численного значения балла размер зерна уменьшается):

9 балл – инструмент относительно простой формы из быстрорежущих и углеродистых сталей (рис. 5.4);

10 балл – сложнопрофильный, в том числе штамповый инструмент из быстрорежущих и углеродистых сталей;

11 балл – мелкоразмерный сложнопрофильный инструмент;

12 балл – инструмент из порошковых быстрорежущих сталей (рис. 5.5).

На рис. 5.4 и 5.5 показаны микроструктура стали, полученной путем шлакового переплава (10, 9 баллы), и порошковая микроструктура быстрорежущей стали с величиной зерна аустенита, равной 12 баллу. В первом случае заметны мелкие зерна карбидов, располагающиеся в виде направленных строк, во втором отмечается равномерная мелкозернистая структура.

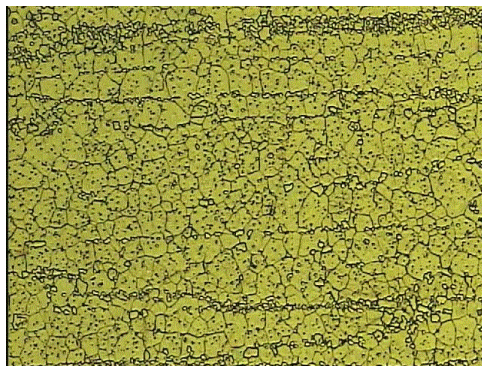


Рис. 5.4. Микроструктура стали Р6М5Ф3-Ш после закалки (величина зерна аустенита 10, 9 баллы),  $\times 500$

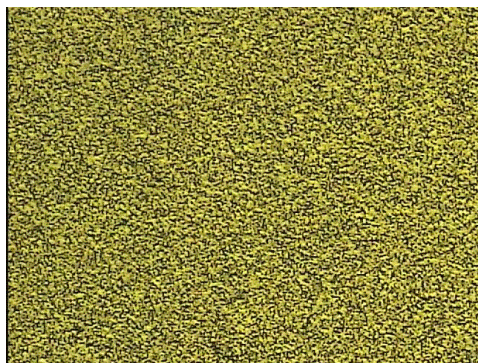


Рис. 5.5. Микроструктура стали S390PM после закалки  
(величина зерна 12 балл),  $\times 500$

Величина зерна аустенита является важнейшим показателем оценки качества закаленного инструмента и контролируется согласно ГОСТ 5360-82. При изготовлении ответственных инструментов, перед началом термообработки партии заготовок инструмента выполняют пробную закалку образца, изготовленного из того же материала, для контроля величины зерна аустенита. И только при получении положительного результата проводят закалку всей партии заготовок.

Для нагрева и последующего охлаждения заготовки режущего инструмента используют соляные ванны, которые позволяют в достаточной степени надежно предохранить поверхность инструмента от окисления и обезуглероживания, выполнить требования технологии по регулированию температуры нагрева с точностью до  $\pm 5^\circ \text{C}$  и обеспечить требуемые структурные характеристики быстрорежущей стали после ее закалки.

Нагрев проводится в газовых или электрических печах в защитной атмосфере или вакууме или же на установках ТВЧ. Для обеспечения равномерного прогрева заготовки по сечению, уменьшения внутренних напряжений и опасности появления трещин нагрев заготовок производят последовательно в два-три этапа.

На первом этапе сталь нагревают до температуры  $400...500^\circ \text{C}$ , на втором – до  $840...860^\circ \text{C}$ , а затем производят окончательный нагрев до закалочных температур (рис. 5.3). При поэтапном нагреве заготовки последовательно помещают в нагревательные ванны, содержащие различные растворы солей (табл. 5.3).

Таблица 5.3

Рекомендуемые составы соляных ванн для термообработки  
быстрорежущих сталей [26; 27]

Назначение состава	Интервал температур, °С	Состав ванн, %						Температура плавления состава, °С
		BaCl <sub>2</sub>	MgF <sub>2</sub>	NaCl	NaNO <sub>3</sub>	NaOH	KNO <sub>3</sub>	
Среднетемпературная ванна под закалку	750...950	68	2	30	–	–	–	710
Окончательный нагрев под закалку	1200...1300	95	5	–	–	–	–	940
		100	–	–	–	–	–	960
Охлаждение	180...240	–	–	–	50	–	50	145
	300...500	–	–	–	25	30	70	260
Отпуск	150...300	50	–	–	45	–	55	137

Для перехода аустенита в мартенсит после прогрева заготовки ее охлаждают с определенной скоростью, которую регулируют путем применения в качестве охлаждающей среды жидкостей с различной удельной теплоемкостью: масла, воды, солей, щелочей и др. (табл. 5.4). Аустенит при охлаждении становится неустойчивым и, в зависимости от скорости охлаждения, превращается в другие структуры. При наиболее высоких скоростях охлаждения происходит мартенситное превращение аустенита. При меньших скоростях охлаждения аустенит переходит в *троостит* или *сорбит* – структуры, не обладающие высокой твердостью.

Таблица 5.4

Скорость охлаждения стали в различных охлаждающих средах [16]

Охлаждающая среда	Скорость охлаждения (°С/с) в интервале температур	
	650...550° С	300...200° С
Спокойный воздух	3	1
Сжатый воздух	30	10
Масло промышленное	120	25
Вода при температуре 18°	600	270
10%-ный водный раствор NaCl	800	270
10%-ный водный раствор NaOH	1100...1200	300

Верхней границей области мартенситного превращения служит мартенситная точка  $M_{н}$ , соответствующая началу превращения аус-

тениста, а нижней границей – точка  $M_k$ , характеризующая его окончание (рис. 5.6). Положение точек  $M_n$  и  $M_k$  определяется химическим составом стали, в первую очередь содержанием углерода.

Чем больше углерода в стали, тем ниже располагаются точки  $M_n$  и  $M_k$  на температурной шкале. Так, при 0,6% углерода точке  $M_n$  соответствует температура около 250° С, а точке  $M_k$  – около 0° С. Это означает,

что для быстрорежущих сталей (содержание углерода 0,8...1,0%) конец мартенситного превращения опускается в область отрицательных температур. Только при охлаждении до температуры примерно -80° С (криогенная закалка) практически весь аустенит в стали Р6М5 перейдет в мартенсит. При обычном охлаждении до комнатной температуры, как это выполняется при закалке, полного распада аустенита не происходит. В структуре быстрорежущей стали может содержаться до 30% остаточного аустенита и до 15...16% карбидов. В углеродистой и легированной инструментальных сталях остаточный аустенит содержится в меньшем количестве и составляет 3...4 и 8...15% соответственно. Значительное количество остаточного аустенита не обеспечивает быстрорежущим сталям максимально возможную твердость и износостойкость, хотя способствует повышению ударной вязкости инструмента.

На рис. 5.7 приведена зависимость периода стойкости токарных

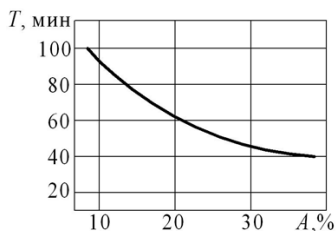


Рис. 5.7. Зависимость периода стойкости резца от количества остаточного аустенита в структуре поверхностного слоя

снижение содержания аустенита в структуре быстрорежущей стали обеспечивает повышение периода стойкости инструмента.

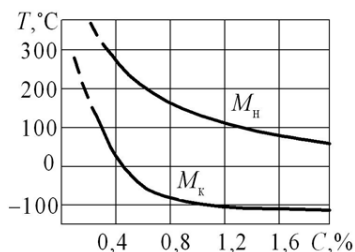


Рис. 5.6. Зависимость температуры начала  $M_n$  и конца  $M_k$  мартенситного превращения от содержания углерода

фасонных стержневых резцов из стали Р18, изготовленных в инструментальном производстве ОАО «АВТОВАЗ», от процентного содержания остаточного аустенита, измеренного в поверхностном слое на передней поверхности. Критерием стойкости служило образование площадки износа величиной 0,5 мм на главной задней поверхности резца. Из рис. 5.7 видно, что

На рис. 5.8 и 5.9 показаны фотоснимки микроструктур быстрорежущих сталей S390PM и P6M5Ф3-Ш после закалки и отпуска (структура готового режущего инструмента).

Как уже отмечалось, для полного превращения аустенита в мартенсит требуется охлаждение стали до отрицательных температур. Такая технология существует и носит название *обработки холодом* или *криогенной закалки*. В этом случае количество остаточного аустенита существенно снижается (например, для стали P6M5P2K8 составляет всего около 0,5%). Твердость стали после криогенной закалки возрастает на несколько единиц HRC, а главное – образуется однородная мартенситная структура. Так как объем мартенситных зерен несколько больше зерен аустенита, то заготовка после закалки увеличивается в объеме, что приводит к увеличению остаточных напряжений в готовой детали. При однородной мартенситной структуре остаточные напряжения минимизируются, что обеспечивает стабилизацию размеров и формы детали.

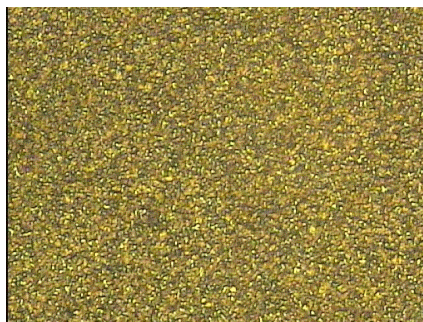


Рис. 5.8. Микроструктура стали S390PM после закалки и отпуска (мартенсит 2 балл),  $\times 800$

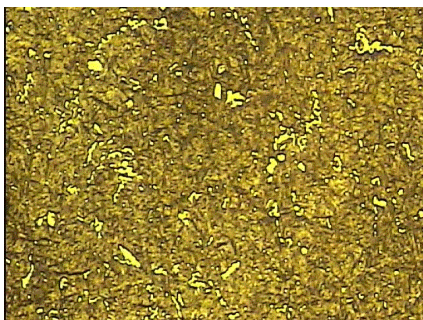


Рис. 5.9. Микроструктура стали P6M5Ф3-Ш после закалки и отпуска (мартенсит 5 балл),  $\times 800$

В качестве источников отрицательных (до  $-70...-135^{\circ}\text{C}$ ) температур используют аммиачные, фреоновые и воздушно-холодильные установки. Хладоносителями являются сухой лед (углекислота), жидкие кислород и азот [16].

Криогенную закалку рекомендуется применять при изготовлении относительно длинного (разверток, протяжек, прошивок) или точного (гладких и резьбовых калибров) инструмента, требующего высокой стабильности размеров и формы в процессе эксплуатации.

Основная цель отпуска заготовки инструмента – регулирование твердости, уменьшение хрупкости, повышение вязкости стали, снятие внутренних напряжений, полученных в результате закалки.

Режим отпуска определяется химическим составом стали, служебным назначением и требуемой твердостью инструмента.

По условиям нагрева различают высокий, средний и низкий отпуск. При изготовлении инструментов на операциях термообработки быстрорежущей стали применяют высокий многократный отпуск для более полного превращения остаточного аустенита в мартенсит и снятия термических напряжений. При многократном отпуске заготовки нагревают до  $560...580^{\circ}\text{C}$  и охлаждают на воздухе, повторяя цикл два-три раза (табл. 5.5). В результате снижения содержания остаточного аустенита и выделения карбидов твердость быстрорежущей стали возрастает на 1...2 единицы HRC, улучшается карбидная неоднородность структуры. Для снятия внутренних напряжений заготовки из углеродистой и легированной инструментальной стали подвергают низкому отпуску при температурах  $140...280^{\circ}\text{C}$  с выдержкой 1...2 часа. В зависимости от требуемых температур отпуск проводят в масляных, селитровых ваннах или ваннах с расплавленной щелочью.

Таблица 5.5

Режим отпуска инструментальных сталей [27]

Материал	Режим отпуска			Твердость HRC (не менее)
	Температура нагрева, $^{\circ}\text{C}$	Выдержка, час	Количество отпусков	
У12	140...200	1...2	1	62...64
9ХС	140...200	1...2	1	61...65
ХВГ	140...200	1...2	1	62...64
P18	560	1	3	62
P9	560	1	3	62
P10K5Ф5	580	1	3...4	63
P6M5	560	1	2...3	63
P12Ф3; P6M5K5	560	1	3	63

В связи с деформацией заготовок при термической обработке они должны иметь дополнительный припуск, учитывающий изменение их формы и размеров. Кроме того, заготовки большой длины (протяжки, длинные сверла и т. п.) рекомендуется перед закалкой подвергать отпуску для снятия остаточных напряжений, сформированных предшествующей лезвийной обработкой, а загрузку заготовок в печь или ванну для нагрева производить в положении, исключающем их искривление или неравномерный прогрев, например в вертикальном, подвешенном состоянии.

Вспомогательной операцией, сопровождающей термическую обработку, является очистка заготовок (удаление масла, солей и прочих загрязнений). После отпуска в соляных ваннах заготовки проходят промывку в моечных машинах водой с температурой 70...80 С до полного удаления солей. Затем производится очистка заготовок от окалины и остатков солей на дробеструйных установках.

В последние годы в инструментальном производстве находят все более широкое применение вакуумные печи для закалки, отжига и химико-термической обработки, обеспечивающие лучшее качество поверхности и однородность физико-механических свойств металла. На заготовках, прошедших закалку в вакуумных печах, отсутствуют окисная пленка и окалина, а в поверхностном слое не происходит обезуглероживания.

#### **5.4. Правка заготовок после термической обработки**

Изменение формы и размеров заготовки при термической обработке обусловлено структурными и тепловыми напряжениями, возникающими из-за температурного градиента и некоторого изменения объема заготовки при переходе аустенита в мартенсит. Эти изменения возрастают с повышением содержания углерода в стали и приводят к соответствующему увеличению деформации закаленной заготовки инструмента. Деформация заготовки зачастую требует ее правки (рихтовки) после термообработки.

Применяют три основных метода правки заготовок:

- 1) правка в горячем состоянии непосредственно в процессе охлаждения при закалке;
- 2) правка закаленных и отпущенных заготовок после специального (общего или местного) подогрева;
- 3) правка закаленных и отпущенных заготовок в холодном состоянии.



*Правку заготовок в горячем состоянии* производят непосредственно в процессе их охлаждения на операции заковки до температуры начала мартенситного превращения (200...250° С). Заготовку размещают на прессе на двух опорах выпуклой частью вверх и нагружают ее до устранения деформации. Возможно прокатывание заготовок осевого инструмента на роликах на специальных установках. Правку проводят в 2–3 приема и прекращают при остывании заготовки до температуры 60...40° С.

Длинные протяжки, удлиненные сверла и другой осевой инструмент подвергают *правке с подогревом*. Заготовки подогревают полностью в ваннах или печах или частично на установке ТВЧ. При местном подогреве нагревают зону наибольшего прогиба. Температура нагрева не должна превышать температуру отпуска (150...160° С).

*Правку заготовок в холодном состоянии* производят, если их деформация незначительна. Заготовки правят на закаленных плитах ударами мягкого молотка. У сварного инструмента большой длины под прессом давят незакаленную часть, например шейку сверла.

## **5.5. Типовые операции термической обработки**

Заковка заготовок осевого инструмента (сверла, зенкеры, развертки и т. д.) имеет некоторые особенности. Эти инструменты в основном изготавливаются составными, с рабочей частью из быстрорежущей стали и хвостовиком из конструкционной стали. Их твердость должна быть различной и составлять 62...64 HRC для рабочей части и 40...45 HRC для хвостовика. Так как термические режимы заковки быстрорежущих и конструкционных сталей существенно различаются, то заковка таких составных заготовок проводится в два этапа в специальных приспособлениях в виде металлических корзин, в которых установлена стальная плита с отверстиями. На первом этапе заготовки вставляют в отверстия хвостовиками, а на втором этапе – рабочей частью. Корзину погружают в закалочную ванну так, чтобы термообрабатываемые части будущего инструмента находились в жидкости.

Для заковки рабочей части используют несколько ванн. В первой производится подогрев до 600...650° С, во второй – до 800° С. Окончательный нагрев до температуры заковки производится в третьей ванне. После выдержки заготовки охлаждают сначала в масле до 250...280° С, затем на воздухе. После этого проводят отпуск при температуре до 650° С.

Для закалки хвостовой части заготовки погружают в соляную ванну, нагретую до 720...740° С, выдерживают и охлаждают в растворе NaCl до 150...200° С, а затем на воздухе. После закалки хвостовики проходят отпуск в соляной ванне при температуре 450...500° С.

При термообработке червячных, цилиндрических, торцовых, дисковых, фасонных фрез предусмотрен первый подогрев до 600...650° С, затем второй – до 800...850° С и окончательный нагрев до температуры закалки. После выдержки следует охлаждение в соляной ванне до 200...250° С с последующим охлаждением на воздухе, затем трехкратный отпуск при 550...570° С в соляной ванне. Высокоточные зуборезные инструменты из быстрорежущей стали, как правило, изготавливают с разделением процесса шлифования закаленных заготовок инструмента на предварительное и окончательное. В этом случае для снятия термических напряжений могут проводить два дополнительных отпуска: первый после предварительного шлифования при 500° С с выдержкой около 60 мин, второй – после окончательного шлифования при 200° С также в течение 60 мин. Три отпуска (после закалки и двух операций шлифования) существенно снижают уровень термических напряжений в инструменте и стабилизируют его форму и размеры при хранении.

Практически все виды протяжек из-за их большой длины относятся к инструментам с малой радиальной жесткостью, поэтому их термообработка достаточно трудоемка и имеет свои особенности. Для уменьшения деформаций термообработку заготовок длинных протяжек проводят до трех раз: после предварительной и окончательной лезвийной обработки и после шлифования.

Сначала производят отпуск перед закалкой для снятия внутренних напряжений, сформированных предшествующей лезвийной обработкой. Затем следуют окончательная лезвийная обработка и вторая термообработка, состоящая из закалки и отпуска, для получения необходимой твердости материала заготовки. Производят нагрев до температуры закалки с предварительным подогревом и охлаждением в масле и с последующим отпуском при 770...790° С. Следующая термообработка заключается в подогреве заготовки до 800...850° С в вертикальном положении в шахтной печи или соляной ванне, затем в окончательном нагреве и охлаждении в масле также в вертикальном положении до 300...400° С. После этого производится горячая правка под прессом, охлаждение на воздухе в подвешенном состоянии и двукратный отпуск при 550...580° С. После шлифования выполняется

еще один отпуск в масляной ванне при температуре 200...250° С для снятия внутренних напряжений.

Для определения качества термической обработки применяют различные методы неразрушающего контроля с использованием просвечивания деталей, измерения интенсивности распространения в металле механических колебаний, определения электрических и магнитных свойств. С помощью этих методов определяют наличие трещин, расслоений, раковин и других дефектов в поверхностном слое детали на глубине нескольких миллиметров. Контролируется структура металла, определяются зоны нагрева и перегрева, зоны пониженной твердости. Основной контрольной операцией является измерение твердости металла методом Роквелла на твердомере и определение ее соответствия чертежу детали.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. С какой целью производят операцию отжига заготовки?
2. Какую структуру металла следует получить в процессе закалки заготовок инструмента?
3. Какие задачи выполняет операция отпуска стали?
4. Каким образом снижают процент остаточного аустенита в структуре закаленной быстрорежущей стали?
5. Почему охлаждение быстрорежущей стали до отрицательных температур на операции закалки приводит к увеличению процентного содержания мартенсита?
6. Как регулируют скорость охлаждения заготовок в процессе закалки?
7. Наличие каких составляющих структуры быстрорежущей стали определяют ее теплостойкость?
8. Какие составляющие структуры быстрорежущей стали обеспечивают ей твердость?
9. Как влияет размер зерна аустенита на прочность инструментальной стали после закалки?
10. Какие операции термической обработки стали способствуют снижению термических напряжений в термообработанной заготовке?
11. На какой термической операции – закалке, отпуске или отжиге – температура нагрева заготовки должна быть наиболее высокой?
12. С какой целью применяют операцию правки заготовок?

## **Глава 6. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ КАЧЕСТВА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАЦИЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ**

---

### **6.1. Пути повышения качества шлифованных поверхностей и производительности абразивной обработки**

Период стойкости режущего инструмента определяется не только физико-механическими свойствами инструментального материала, полученными в результате термической обработки, но и состоянием активного слоя (толщиной в несколько десятков микрометров) рабочих поверхностей инструмента, сформированных на операциях шлифования и заточки. Эти операции обеспечивают требуемый уровень качества изготовления инструмента, которое достаточно полно оценивается тремя параметрами:

- 1) точностью размеров, погрешностями формы и расположения поверхностей;
- 2) шероховатостью поверхностей рабочей части;
- 3) состоянием структуры поверхностного слоя материала рабочей части.

Первые два параметра нормируются рабочим чертежом инструмента. Третий, как правило, в чертеже не указывается, поскольку устанавливается нормативно-технической документацией, регламентирующей состояние структуры металла, появление микротрещин, прижогов и т. д. Например, в ГОСТ 13838-60 «Фрезы дисковые зуборезные мелко модульные. Технические условия» отмечено: «На всех поверхностях не должно быть трещин, забоин, выкрошенных мест, заусенцев, следов коррозии, а на режущих поверхностях – прижогов».

Шлифовочный прижог, согласно ГОСТ 23505-79 «Абразивная обработка», – это структурно измененный слой или участок на обработанной поверхности, являющийся следствием теплового действия шлифования. Появление прижогов характерно для сталей, склонных к структурно-фазовым превращениям, к числу которых относятся инструментальные стали. Образование прижога приводит к резкому снижению стойкости инструмента в процессе его эксплуатации.

Тепловое действие на шлифуемую поверхность обусловлено сложным процессом пластической деформации поверхностного слоя металла при высоких скоростях резания  $V_k$  и отрицательных передних

углах  $\gamma$  абразивных зерен (рис. 6.1), сопровождаемым значительным трением контактной поверхности зерен и связки шлифовального круга с обрабатываемой поверхностью. Поскольку при этом почти вся механическая энергия переходит в тепловую, максимальная температура на отдельных абразивных зернах может достигать температуры плавления металла, а средняя температура в зоне контакта круга и заготовки может достигать  $1000...1200^\circ\text{C}$  (рис. 6.2–6.5), что значительно выше, чем при лезвийной обработке.

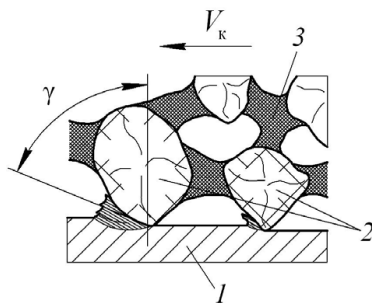


Рис. 6.1. Схема резания абразивным инструментом: 1 – шлифуемый металл; 2 – абразивное зерно; 3 – связка

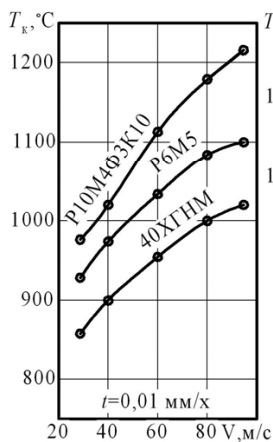


Рис. 6.2. Влияние скорости круга  $V_k$  на температуру при шлифовании

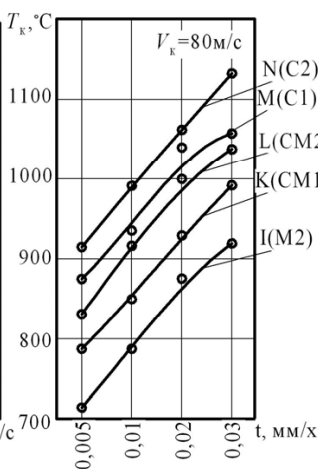


Рис. 6.3. Влияние глубины шлифования  $t$  и твердости круга на температуру при шлифовании стали 40ХГНМ

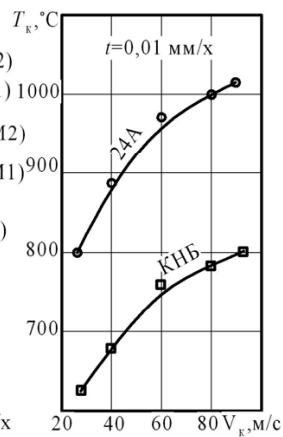


Рис. 6.4. Влияние скорости круга  $V_k$  и марки абразивного зерна на температуру при шлифовании стали 40ХГНМ

Термический процесс в поверхностном слое шлифуемого металла происходит с высокой скоростью нагрева ( $10^{-5}...10^{-8}$  град/с) и быстрым охлаждением. Длительность теплового импульса при резании единичным абразивным зерном составляет около  $10^{-3}...10^{-6}$  с.

Чем длительнее тепловой импульс, тем на большую глубину прогревается поверхностный слой металла.

При шлифовании металлов, склонных к фазовым превращениям (в том числе инструментальных сталей), нагрев зоны резания вызывает структурные изменения в поверхностном слое.

В стали с мартенситной структурой при шлифовании с высокой контактной температурой могут образовываться прижоги и остаточные напряжения растяжения. На величину контактных температур влияет комплекс технологических факторов: скорость шлифовального круга  $V_k$ , глубина шлифования  $t$ , применение жидких смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС), подаваемых в зону обработки, характеристика шлифовального инструмента, в частности его твердость. Это обстоятельство требует тщательной проработки путей снижения температур при шлифовании и заточке инструмента и определения технологических условий, при которых не происходит структурно-фазовых превращений металла.

На рис. 6.2–6.5 показаны экспериментальные зависимости контактных температур при круглом шлифовании закаленных быстрорежущих сталей P10M4Ф3K10 (HRC 64...66), P6M5 (HRC 62...64) и конструкционной стали 40ХГНМ (HRC 48...50) от технологических условий обработки. Из рис. 6.2 следует, что увеличение скорости шлифовального круга влечет за собой повышение контактных температур, особенно при обработке трудношлифуемых быстрорежущих сталей. Аналогичное изменение температур имеет место и при увеличении глубины шлифования  $t$  (рис. 6.2). Уменьшение теплонапряженности процесса шлифования обеспечивают снижение твердости круга (рис. 6.3) и увеличение давления жидких СОТС (рис. 6.5), а также использование шлифовального круга из кубического нитрида бора (КНБ). Из рис. 6.4 видно, что шлифование кругом, оснащенным КНБ, обеспечивает снижение температуры примерно на  $200^\circ\text{C}$  по сравнению со шлифованием электрокорундовым инструментом марки 24А.

Негативное влияние температуры на состояние поверхностного слоя шлифуемого металла можно объяснить следующим образом. Если при нагреве контактная температура превышает значения  $A_{c1}$  по

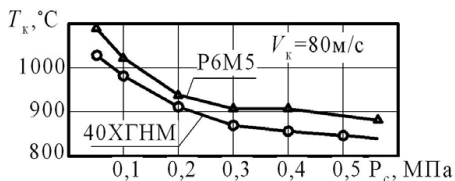


Рис. 6.5. Влияние давления СОТС на температуру шлифования сталей P6M5 и 40ХГНМ

диаграмме железо–углерод (рис. 5.1), то в поверхностном слое возникает вторичный отпуск металла на некоторую глубину  $h_c$  с образованием троостито-мартенситной структуры. Аналогичный процесс происходит и при шлифовании. Образовавшаяся структура имеет пониженную микротвердость по сравнению с основной структурой, состоящей из мартенсита (кривая 2, рис. 6.6). При более высоких температурах, превышающих значения  $A_{c3}$ , происходит образование вторично-закаленного поверхностного слоя (кривая 3, рис. 6.6), имеющего сильно деформированную мартенсито-аустенитную структуру и высокую твердость. Этот слой располагается на весьма мягком слое вторичного отпуска, плавно переходящем в основную структуру.

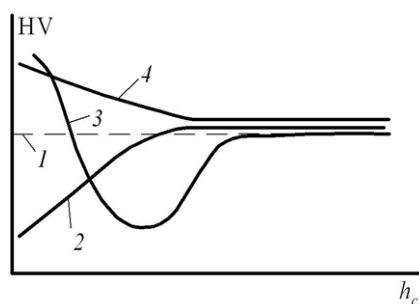


Рис. 6.6. Изменение микротвердости металла по глубине поверхностного слоя: 1 — после термообработки; 2 — в слое вторичного отпуска; 3 — в слое вторичной закалки; 4 — в слое наклепа

Характер структурных превращений, происходящих под действием температуры шлифования, аналогичен процессам, возникающим при термообработке. Изменение структуры металла проявляется на шлифованной поверхности в виде прижога, состоящего из отдельных штрихов, пятен или сплошного покрова, в зависимости от интенсивности термического режима шлифования. При этом микротвердость вторично-закаленного слоя превышает микротвердость основной структуры, полученную в результате основной операции термообработки. Этот относительно тонкий (5...20 мкм) слой может содержать до 70% аустенита. При вторичном структурном превращении мартенсита в аустенит в процессе шлифования изменяется объем зерен металла. Большой размер имеют мартенситные зерна, меньший — аустенитные. Это приводит к напряженно-деформированному состоянию металла в поверхностном слое. В слоях металла со структурой, имеющей больший объем, развиваются напряжения сжатия, а в слоях, имеющих

меньший объем, — растягивающие напряжения. Если остаточные напряжения превышают предел прочности металла, на шлифованной поверхности образуются трещины (рис. 6.7). Инструмент с такими дефектами изготовления склонен к разрушению в процессе эксплуатации.

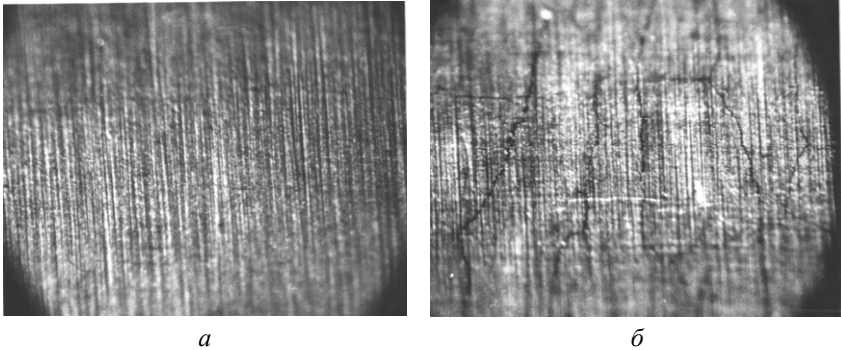


Рис. 6.7. Поверхность металла после шлифования: а) без трещин; б) с образовавшимися трещинами,  $\times 32$

Высокие скорости нагрева и охлаждения контактной зоны в процессе шлифования сдвигают начало фазовых превращений в сторону увеличения температур на  $50...200^\circ\text{C}$  по сравнению с операциями термообработки (заковки и отпуска). Достаточно точные данные о величине сдвига точек  $A_{c1}$  и  $A_{c3}$  установить сложно из-за неоднозначного действия указанных факторов.

Кроме теплового фактора, на поверхностный слой одновременно оказывает воздействие силовой фактор. Силы резания вызывают сжатие поверхностных слоев шлифуемой заготовки, в то время как контактные температуры приводят к возникновению растягивающих напряжений. Превалирование упрочняющего или разупрочняющего эффекта зависит от величины контактных температур. Чем ниже температура, тем в меньшей степени проявляется разупрочняющий эффект. При значительных силах резания и относительно невысоких контактных температурах структурных изменений не происходит, но в поверхностном слое материала в результате пластического деформирования может возникнуть наклеп — слой повышенной твердости, обладающий более высокими механическими свойствами по сравнению с исходной структурой, полученной после термообработки (кривая 4, рис. 6.6).



Формирование наклепа в поверхностном слое характерно для операций холодной прокатки и штамповки металла, выглаживания, обкатывания и др. При абразивной обработке возникновение наклепа возможно при условии преобладания силового фактора над тепловым, например при алмазном шлифовании или при высокоэффективном охлаждении. Этот упрочненный слой выполняет положительную роль при эксплуатации режущего инструмента.

Таблица 6.1

Результаты производственных испытаний износостойкости резцов

Состояние поверхностного слоя резца	Размерный износ, мкм	Относительный износ, %
1. Без существенных изменений	0,36	100
2. Наклеп	0,29	80
3. Вторичный отпуск	0,79	219
4. Вторичная закалка	0,52	144

Влияние микротвердости и структуры поверхностного слоя шлифованного инструмента на его стойкость в процессе эксплуатации показано в табл. 6.1, в которой приведены результаты сравнительных испытаний резцов из стали P10M4Ф3K10, выполненных в инструментальном производстве ОАО «АВТОВАЗ». По состоянию поверхностного слоя после заточки резцы были разделены на четыре группы. Относительный износ по задней поверхности у резцов с практически не изменившейся после заточки микротвердостью поверхностного слоя был принят за 100%. Оказалось, что резцы с наклепом в поверхностном слое имеют самый низкий износ (80%). Наличие слоя вторичного отпуска или слоя вторичной закалки приводит к значительному возрастанию износа по сравнению с резцами, не имеющими существенных изменений структуры и микротвердости.

Качество поверхностного слоя режущих инструментов оценивают путем измерения микротвердости и исследования структуры металла в поверхностном слое. Для этого вырезают образцы из режущей части изделия и изготавливают поперечные или косые (под углом 0,5...5,0° относительно шлифованной поверхности) микрошлифы. Косой срез на микрошлифе позволяет увеличить масштаб и, соответственно, точность измерения микротвердости. Плоскость шлифа обрабатывают на низких режимах шлифования так, чтобы не внести в поверхностный слой дополнительных дефектов, полируют, после чего измеряют

микротвердость по Виккерсу с весьма малой нагрузкой на алмазный наконечник (0,2...1,0 Н) от поверхности в глубину.

Схема измерения микротвердости алмазной пирамидкой на косом срезе микрошлифа образца показана на рис. 6.8. Фактическая глубина в поверхностном слое  $h_c$  связана с расстоянием между соседними отпечатками  $m_{ш}$  соотношением

$$h_c = m_{ш} \sin \alpha. \quad (6.1)$$

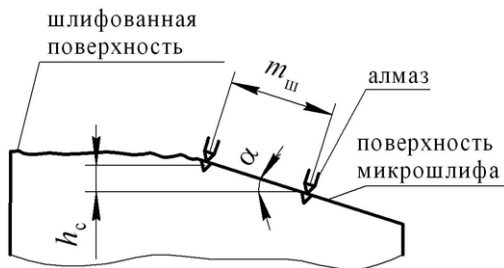


Рис. 6.8. Схема измерения микротвердости на косом срезе микрошлифа

Например, при  $\alpha = 3^\circ$  масштаб  $h_c : m_{ш}$  составляет примерно 1:20. Это означает, что при вдавливании алмазной пирамидки через каждые 0,03 мм фактическая глубина измерения будет иметь шаг всего 0,0015 мм.

На фотографии косого микрошлифа (рис. 6.9) видны следы квадратных отпечатков, которые идут от шлифовочных рисок вглубь образца (по три отпечатка в ряд для получения среднего результата). На основе измерений отпечатков вычисляют значения микротвердости и строят график ее изменения по глубине  $h_c$  поверхностного слоя, как это показано на рис. 6.6.

После изучения микротвердости шлиф подвергают травлению специальными составами (например, 4%-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте) и изучают под микроскопом на-



Рис. 6.9. Поверхность микрошлифа с отпечатками алмазной пирамидки через каждые 0,03 мм

личие структурных изменений в металле. Аустенитно-мартенситный слой вторичной закалки на травленном микрошлифе имеет белый цвет. Трооститный слой легко поддается травлению и поэтому выглядит темнее основной структуры. На фотографии микрошлифа поперечного сечения профиля резьбы метчика (рис. 6.10,*а*) заметно изменение структуры в виде белого слоя, образовавшегося после шлифования электрокорундовым кругом. Шлифование кругом из кубического нитрида бора в аналогичных условиях позволяет исключить прижоги (рис. 6.10,*б*). Это обусловлено более низким уровнем температур при шлифовании кругом из КНБ по сравнению с кругом из электрокорунда (рис. 6.4).

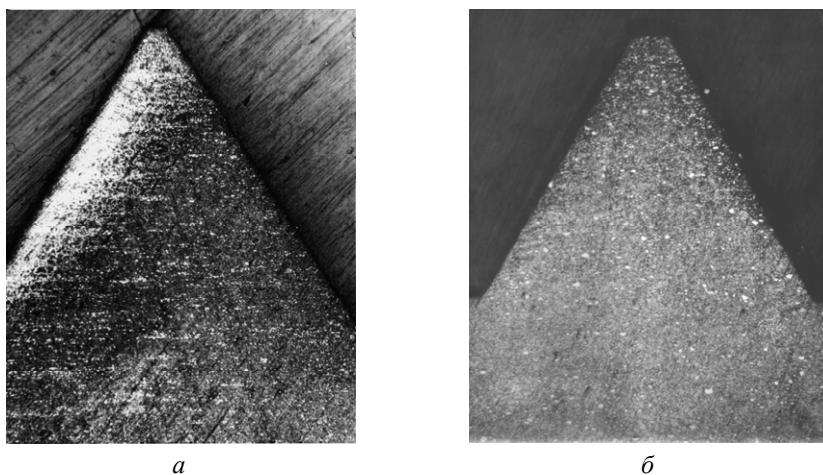


Рис. 6.10. Микрошлифы поперечного сечения профиля резьбы метчика ( $\times 50$ ): *а*) шлифование электрокорундовым кругом; *б*) шлифование кругом из КНБ

В настоящее время существует относительно большое число неразрушающих (без вырезки из готовой детали экспериментальных образцов) технологий выявления прижогов, остаточного аустенита и изменения микротвердости, основанных на рентгенографических, электрохимических, электромагнитных и микрорентгеноспектральных методах, а также электронной микроскопии. Например, компьютеризированный прибор неразрушающего контроля «Интроспан» позволяет строить эпюры остаточных напряжений, определять величину пластической деформации. Прибор способен контролировать толщину поверхностного слоя, упрочненного лазерной, плазменной и иными методами обработки, выявлять шлифовочные прижоги и др.

Поскольку определяющим фактором воздействия на качество поверхностного слоя является температура (рис. 6.2–6.5), то основной задачей при шлифовании и заточке является определение возможностей ее снижения.

Проанализируем принципиальные пути снижения контактной температуры на примере обобщенной формулы [18] расчета этой температуры при круглом шлифовании:

$$T_k = \frac{\Omega P_z V_k}{F \lambda} A^*, \quad (6.2)$$

где  $V_k$  – скорость круга, м/с;  $P_z$  – главная составляющая силы резания, Н;  $\Omega$  – доля теплоты, поступающей в заготовку;  $F$  – площадь контакта, м<sup>2</sup>;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/(м·град);  $A^*$  – функция, учитывающая конкретные особенности процесса абразивной обработки.

Как видно из (6.2), с ростом окружной скорости круга температура при шлифовании возрастает. В связи с этим на чистовых операциях абразивной обработки, особенно при заточке, рекомендуется применять станки с относительно невысокой скоростью круга, не превышающей 35 м/с. Повышение окружной скорости заготовки  $V_1$  обеспечивает снижение негативного воздействия температуры  $T_k$  из-за уменьшения времени контакта абразивных зерен круга с заготовкой. Для снижения  $T_k$  и, как следствие, глубины термического воздействия на шлифуемый металл следует повышать  $V_1$  (или продольную подачу  $S_{np}$  при плоском шлифовании), устанавливая соотношение  $V_k/V_1 \approx 40...60$ . Для обеспечения бесприжогового шлифования при одновременном получении минимальных значений шероховатости обработанной поверхности рекомендуется после снятия основной части припуска при соотношении  $V_k/V_1 \approx 40...60$  производить выхаживающие проходы с уменьшенным значением скорости заготовки  $V_1$ .

Повышение коэффициента теплопроводности  $\lambda$  материала шлифовального круга приводит к снижению доли теплоты, поступающей в заготовку, за счет увеличения отвода теплоты в круг. В практике абразивной обработки это обеспечивается путем применения шлифовального инструмента, обладающего повышенной теплопроводностью, например, алмазных или эльборовых (КНБ) кругов. Коэффициент теплопроводности электрокорунда примерно в 7 раз ниже, чем коэффициент теплопроводности алмаза, и в 2...3 раза, чем эльбора (табл. 2.11). Снижению температуры заготовки способствует также применение кругов

с металлической связкой, имеющей более высокую теплопроводность по сравнению с керамической и органической связками.

Зернистость абразивного круга оказывает комплексное воздействие на качество шлифованных поверхностей. С одной стороны, при увеличении размеров зерен увеличивается условный радиус их округления, режущий клин получается более тупым, и силы резания возрастают, вызывая повышение контактных температур  $T_k$ . С другой стороны, при шлифовании мелкозернистыми кругами возрастает число режущих зерен, а соответственно, и число тепловых импульсов, что увеличивает теплонапряженность процесса обработки.

Удельная энергия шлифования существенно превышает удельную энергию обработки лезвийными инструментами, поэтому при шлифовании как операции окончательной обработки возникает необходимость введения смазочной технологической среды между рабочей поверхностью круга и заготовкой для снижения сил резания, интенсификации отвода выделяющейся теплоты и, как следствие, снижения контактных температур. Жидкие смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС) оказывают на процесс шлифования охлаждающее, смазочное и моющее действия.

*Охлаждающее* действие жидких СОТС заключается в интенсивном отводе теплоты из зоны шлифования. Лучшее охлаждающее действие оказывает вода, имеющая высокие теплоемкость и теплопроводность, поэтому одни из наиболее применяемых видов СОТС – составы на водной основе с добавлением поверхностно-активных веществ и антикоррозионных присадок.

*Смазочное* действие СОТС при шлифовании заготовок сводится к снижению работы трения абразивных зерен, связки, частиц металла и отходов обработки, налипших на рабочую поверхность шлифовального круга, а также к предотвращению этого налипания («засаливания» круга). Лучшее смазочное действие оказывают СОТС на масляной основе.

При шлифовании с заготовки снимается множество мелких стружек, и непрерывно образуется шлифовальный шлам, содержащий частицы металла, осколки абразивных зерен и связки. Шлам забивает межзеренное пространство круга, снижая его режущую способность. *Моющее* действие СОТС заключается в удалении (вымывании) шлама с рабочей поверхности инструмента, из зоны резания, с поверхностей заготовки и с деталей станка.

Современные марки быстрорежущих сталей имеют пониженную шлифуемость, существенную чувствительность к перегреву и склон-

ность к обезуглероживанию. Стандартный шлифовальный инструмент зачастую не в состоянии обеспечить высокую производительность операции шлифования при сохранении требуемого качества поверхности. Это связано с низкой стойкостью шлифовальных кругов вследствие их засаливания, интенсивного затупления и износа. В целом эта проблема, как уже отмечалось, решается оптимизацией режима резания, подбором характеристики абразивного инструмента и применением жидких СОТС. Однако при заточке режущего инструмента применение жидких СОТС не всегда возможно в связи с затруднением контроля за зоной обработки, особенно при заточке и доводке многолезвийного инструмента. Заточка твердосплавного инструмента всегда производится всухую, так как этот инструментальный материал не выдерживает резкого перепада температур. (Из-за ухудшения санитарно-гигиенических условий труда необходимость выполнения операций «сухой» заточки в обязательном порядке отмечается в технологической документации требованием типа «шлифовать абразивным инструментом сухим способом».)

При технической невозможности использования жидких СОТС применяют так называемую «твердую смазку». Твердые СОТС состоят из композиции антифрикционных компонентов, например, микропорошка графита, дисульфида молибдена ( $\text{MoS}_2$ ) и др., поверхностно-активных веществ (олеиновая кислота и др.), окислителей и наполнителей. Твердыми СОТС пропитывают (импрегнируют) шлифовальные круги или наносят их на рабочую поверхность круга непосредственно при шлифовании.

В табл. 6.2 приведены сравнительные результаты испытаний твердых СОТС, разработанных в Тольяттинском государственном университете, на операциях заточки режущего инструмента из быстрорежущей стали. Испытания проводились в инструментальном производстве ОАО «АВТОВАЗ». Установлено, что в результате применения твердого СОТС, содержащего антифрикционные и окислительные компоненты, снижение шероховатости обработанных поверхностей составило 15...40%, а стойкость шлифовальных кругов выросла в 1,5...2,5 раза. Например, при шлифовании профиля червячной фрезы из стали Р6М5К5 ( $V_k = 30$  м/с,  $t = 0,03$  мм) с использованием твердого СОТС шероховатость  $Ra$  шлифованной поверхности снизилась с 0,63 до 0,32 мкм, а стойкость круга возросла и позволила шлифовать 60 зубьев вместо 30 по базовой технологии.

## Результаты испытаний твердых СОТС

Обрабатываемый инструмент	Изменение показателей обработки, %		
	Снижение $Ra$	Повышение стойкости круга	Повышение производительности
1. Метчики, фрезы концевые, долбяки	15...20	150...250	15...30
2. Фрезы дисковые	20...25	200...250	10...25
3. Фрезы червячные	25...40	150...200	10...25
4. Протяжки шлицевые	25...40	150...200	15...20
5. Резцы фасонные	15...20	170...230	25...30

Использование твердых СОТС дает возможность ужесточить режим заточки инструмента, обеспечить повышение производительности операции, не допуская формирования прижогов на шлифованных поверхностях.

Согласно формуле (1.10) основное время операции  $T_0$  при прочих равных условиях зависит от элементов режима резания – глубины  $t$  и продольной подачи  $S$ . Для обеспечения наибольшей производительности необходим выбор рационального метода шлифования и, соответственно, значений  $t$  и  $S$ .

На большинстве типов шлифовальных станков процесс шлифования производится двумя технологическими методами – многопроходным (маятниковым) и глубинным.

*Многопроходное шлифование* предусматривает удаление припуска порядка 0,3...0,5 мм за определенное число рабочих ходов, причем за один рабочий ход глубина шлифования составляет всего лишь  $t = 0,005...0,03$  мм. Это связано с тем, что при увеличении  $t$  увеличивается толщина единичного среза  $a_z$ , приходящегося на одно режущее зерно шлифовального круга (рис. 6.1). Очевидно, что чем больше величина  $a_z$ , тем большие нагрузки действуют на отдельное абразивное зерно. Это приводит к повышению износа шлифовального круга, снижению его стойкости, к росту сил и температур резания, ухудшению шероховатости обработанной поверхности.

Технологический маршрут изготовления инструмента с использованием многопроходного шлифования предусматривает снятие основного припуска с заготовки на операциях лезвийной обработки – фрезерной или токарной, а в процессе шлифования достигаются заданные точность размеров и шероховатость обработанных поверхностей за счет оставшейся малой части припуска.

При проведении *глубинного шлифования* могут быть найдены условия, когда весь припуск удаляется в процессе шлифования за один-три рабочих хода при глубине шлифования 3...8 мм. Таким образом, глубинное шлифование может быть и формообразующей и окончательной операцией, которая по производительности не только не уступает, но и может превосходить фрезерную или токарную обработку. Однако шлифование с большой интенсивностью съема металла происходит с повышенным выделением теплоты в зоне контакта круга с заготовкой и поэтому возможно только при соответствующем выборе режимов обработки, характеристики шлифовального инструмента и специального станочного оборудования.

Каким же образом осуществляется глубинное шлифование, сопоставимое по производительности с лезвийной обработкой и не ухудшающее качество обработки? Чтобы ответить на этот вопрос, обратимся к известным формулам для расчета толщины среза  $a_z$ , приходящегося на единичное абразивное зерно [6]. Например, при круглом наружном шлифовании

$$a_z = 24 \sqrt{\frac{Q_{уд}}{V_k N_z \sqrt{Dp}}}, \quad (6.3)$$

где  $Q_{уд}$  – удельная производительность шлифования:  $Q_{уд} = S_{пр} t B$ , м<sup>3</sup>/мин,  $B$  – высота круга, мм;  $t$  – глубина шлифования, мм;  $S_{пр}$  – продольная подача заготовки, м/мин;  $D$  – диаметр шлифовального круга, мм;  $N_z$  – число режущих кромок на единице поверхности круга, шт.;  $p$  – средний радиус округления вершин режущих кромок, мкм.

Как видно из (6.3), величина  $a_z$  обратно пропорциональна окружной скорости круга  $V_k$ . Следовательно, чтобы значение  $a_z$  не изменялось при повышении производительности обработки  $Q_{уд}$  за счет увеличения подачи  $S_{пр}$  или глубины шлифования  $t$ , необходимо одновременно увеличивать скорость  $V_k$ . В этом случае, несмотря на повышение интенсивности процесса шлифования, нагрузка на зерна круга будет изменяться незначительно.

На этом принципе основаны технологические методы таких прогрессивных способов абразивной обработки, как скоростное и глубинное шлифование. Согласно ГОСТ 23505-79 «Обработка абразивная» шлифование с окружной скоростью шлифовального круга свыше 35 и до 60 м/с называется скоростным, а со скоростью  $V_k > 60$  м/с – высокоскоростным. Учитывая, что эффект от глубинного шлифования



достигается с повышением скорости круга, такой процесс чаще называют *высокоскоростным глубинным шлифованием*.

Высокоскоростное глубинное шлифование дает максимальный эффект при учете всех значимых факторов, влияющих на процесс обработки: сочетания элементов режима резания, характеристики шлифовального круга, эффективного охлаждения зоны обработки и др.

Развитию процесса высокоскоростного шлифования в последние годы способствовали создание нового сверхтвердого материала – кубического нитрида бора, обладающего высокой твердостью и теплостойкостью, а также производство станочного оборудования, способного работать с высоко- и сверхвысокоскоростными режимами резания.

По данным фирмы Gühring (Германия) [5], производительность плоского многопроходного шлифования составляет 1...10, фрезерования – 20...50, а глубинного высокоскоростного шлифования – до 500 мм<sup>3</sup>/мм.с. Как показывает практика, время высокоскоростного ( $V_k = 72$  м/с) вышлифовывания двух стружечных канавок длиной 40 мм на сверле Ø20 мм – всего около 2 минут. Для сравнения: по традиционной типовой технологии, согласно нормативному справочнику [12], изданному в 1975 году, формирование стружечных канавок на аналогичном сверле производится за три операции: фрезерную, слесарную для снятия заусенцев и полировальную с общим временем 6 мин, что в 3 раза дольше, чем при глубинном шлифовании.

## **6.2. Выбор шлифовальных кругов**

### **6.2.1. Общие правила выбора шлифовальных кругов**

Эффективность любой операции механической обработки определяется точным выбором металлообрабатывающего оборудования, назначением оптимальных режимов обработки, разработкой рационального технологического маршрута и т. д. На операциях шлифования и заточки, кроме отмеченных факторов, важнейшую роль играет целенаправленный подбор типоразмера и характеристики шлифовального инструмента, влияющих на производительность операций шлифования, качество поверхностного слоя, размерную точность и шероховатость обработанных поверхностей. При выборе шлифовального инструмента следует учитывать тип и модель станка, физико-механические свойства обрабатываемого материала, форму и размеры детали, требуемые параметры качества шлифуемых поверхностей и

режим шлифования. Выбор рациональной характеристики шлифовального инструмента является многофакторным процессом, однако без грамотного, профессионального решения этой задачи невозможно обеспечить высокую эффективность изготовления инструмента.

Среди многочисленных видов шлифовального инструмента наиболее представительными как по сложности решаемых задач, так и объемам использования являются шлифовальные круги.

В зависимости от вида абразивного материала шлифовальные круги подразделяются на две группы:

- 1) содержащие абразивные зерна из электрокорунда (*A*, от англ. *alundum*) или из карбида кремния (*C*, от *carborundum*);
- 2) содержащие абразивные зерна из сверхтвердых материалов (СТМ) – алмаза или кубического нитрида бора (эльбора).

Основные физико-механические свойства указанных абразивных материалов приведены в табл. 2.11.

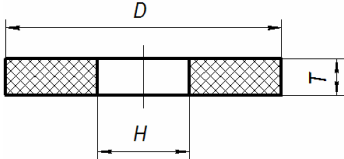
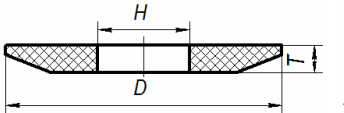
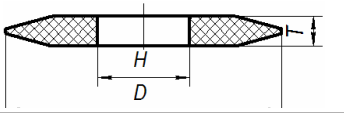
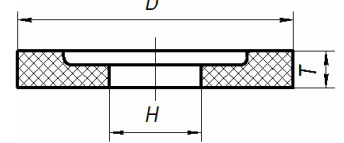
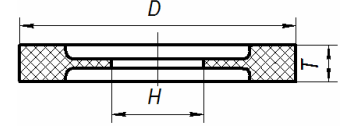
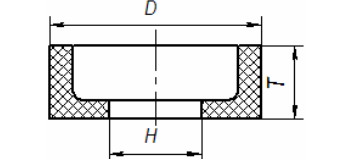
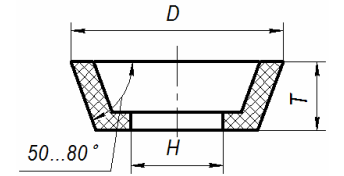
Отечественные производители шлифовального инструмента постепенно переходят на маркировку своей продукции, приближенную к международным стандартам ISO и стандартам европейских производителей абразива FEPA. Однако в научно-технической литературе и в практике абразивной обработки пока еще встречаются обозначения типов и характеристик кругов по ранее действовавшим стандартам, например по ГОСТ 2424-83 и др. Поэтому в последующих разделах пособия приведены некоторые параметры шлифовальных кругов по ныне действующим и отмененным стандартам.

### **6.2.2. Выбор типа шлифовального круга**

В табл. 6.3 приведены основные типы шлифовальных кругов с абразивным материалом из электрокорунда и карбида кремния, их служебное назначение и обозначение в соответствии с ГОСТ Р 52781-2007. Для сравнения в скобках приведены обозначения типов кругов по ранее действовавшему стандарту ГОСТ 2424-83. В табл. 6.4 показаны основные типы шлифовальных кругов из СТМ – алмаза и эльбора, их служебное назначение и обозначения по ГОСТ 24747-90.

Выбор шлифовального круга начинают с определения его типа, формы и размеров, обусловленных характером выполняемой операции, формой шлифуемой поверхности и моделью станка. Любой шлифовальный или заточный станок предусматривает применение шлифовальных кругов с определенной предельно допустимой окружной рабочей скоростью и их размерами по наружному и внутреннему диаметрам и высоте.

Обозначение типов шлифовальных кругов из А и С  
по ГОСТ Р 52781-2007

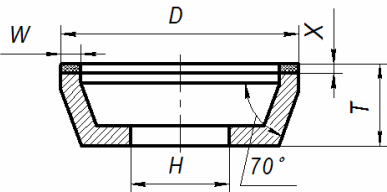
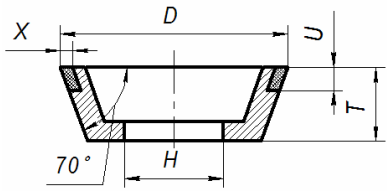
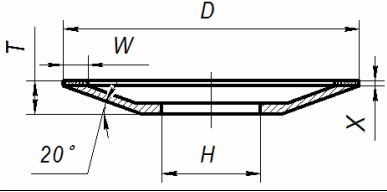
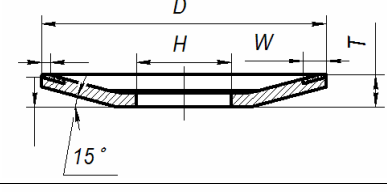
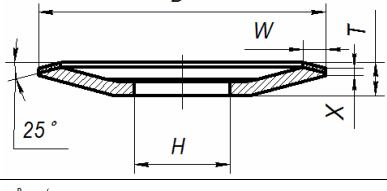
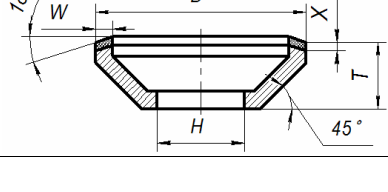
Обозначение	Форма сечения	Назначение
Прямоугольно-го профиля Тип 1 (ПП)		Универсальное применение на основных видах шлифования
С коническим профилем Тип 3 (2П)		Резьбошлифование, зубошлифование, заточка многолезвийного инструмента
С двухсторонним коническим профилем Тип 4 (3П)		
С выточкой Тип 5 (ПВ)		Универсальное применение подобно кругам типа 1. Выточки предназначены для одновременного шлифования торцовых и цилиндрических поверхностей
С двойной выточкой Тип 7 (ПВД)		
Чашечный цилиндрический Тип 6 (ЧЦ)		Заточка и доводка инструмента, внутреннее и плоское шлифование
Чашечный конический Тип 11 (ЧК)		Заточка и доводка инструмента

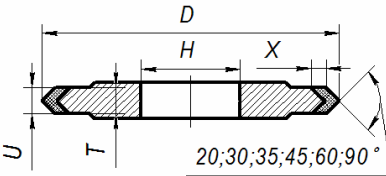
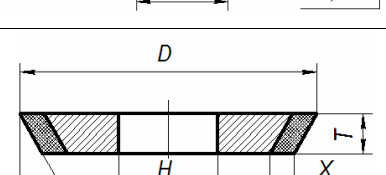
Обозначение	Форма сечения	Назначение
Тарельчатый Тип 12 (Т)		Заточка и доводка многолезвийного режущего инструмента, особенно по передней поверхности
Пример обозначения типа и размера круга: 11-D×H×T или в размерном виде 11-150×70×32. В скобках приведено обозначение по ранее действовавшему ГОСТ 2424-83.		

Таблица 6.4

Обозначение шлифовальных кругов из СТМ по ГОСТ 14747-90

Обозначение	Тип	Форма сечения	Назначение
Плоский прямого профиля	1A1		Обработка цилиндрических, конических и плоских поверхностей
Плоский прямого профиля без корпуса	A8		Шлифование отверстий
Плоский с выточкой	6A2		Заточка и доводка режущего инструмента, круглое торцовое шлифование
Плоский с двусторонней выточкой	9A3		Заточка и доводка инструмента

Обозначение	Тип	Форма сечения	Назначение
Круги чашечные и конические	11A2		Заточка и доводка инструмента, обработка плоских поверхностей
	11V9		Заточка и доводка многолезвийного инструмента по передним и задним поверхностям
Круги тарельчатые	12A2-20°		Заточка и доводка многолезвийного инструмента
	12R9		Заточка многолезвийного инструмента по передней поверхности
	12V5-20°		Заточка и доводка передней поверхности многолезвийного инструмента со спиральным зубом
	12V5-45°		Заточка и доводка многолезвийного инструмента со спиральными канавками

Обозначение	Тип	Форма сечения	Назначение
	12R4		Шлифование эвольвентного профиля зуба долбяков и шеверов
Плоский с полукругло-выпуклым профилем	14F1		Шлифование фасонных поверхностей, стружечных канавок
Плоский с двусторонним коническим профилем	14EE1		Заточка и доводка передней поверхности многолезвийного инструмента со спиральным зубом
Плоский с двусторонним профилем	1E6Q		Шлифование резьбы
Плоский с двусторонним профилем	1D1		Шлифование профиля червячных фрез и резьбы
Плоский с односторонним коническим профилем	1V1		Шлифование заборного конуса метчиков, шлицевых валов

Обозначение	Тип	Форма сечения	Назначение
Профильный	4V9		Заточка червячных фрез
Плоский с полукруглым выпуклым профилем	1F1X		Шлифование фасонных поверхностей различных деталей
<p>Пример обозначения типа и размера круга: 1A1-D×H×T×X, в размерном виде 1A1-400×125×25×5; 12A2-20°-D×H×T×W×X или 12A2-20°-150×32×25×3×10.</p>			

### 6.2.3. Выбор характеристики шлифовального круга

#### *Выбор материала абразивного зерна*

Область применения абразивного материала определяется физико-механическими свойствами металла заготовки и условиями шлифования. Рекомендации по выбору материала абразивных зерен приведены в табл. 6.5–6.7.

Таблица 6.5

Абразивные материалы из электрокорунда и карбида кремния

Абразивный материал	Рекомендуемые операции
Электрокорунд нормальный 13A; 14A	Шлифование корпусов сборных инструментов из конструкционных сталей. Ведущие круги при бесцентровом шлифовании
Электрокорунд белый 23A; 24A; 25A	Шлифование и заточка; универсальное применение
Электрокорунд титанистый 37A	Шлифование заготовок из углеродистых и легированных сталей
Электрокорунд циркониевый 38A	Обдирочное шлифование стальных заготовок на высоких скоростях
Монокорунд 43A; 44A	Шлифование сталей ухудшенной шлифуемости, заточка инструмента
Электрокорунд хромотитанистый 91A; 92A	Шлифование заготовок из быстрорежущих сталей

Абразивный материал	Рекомендуемые операции
Карбид кремния черный 54С	Шлифование заготовок из чугуна, цветных металлов, гранита, заточка твердосплавного инструмента
Карбид кремния зеленый 63С; 64С	Предварительное шлифование и заточка инструментов из твердых сплавов совместно с конструкционной сталью корпуса

Таблица 6.6

### Абразивные материалы из алмазов

Абразивный материал	Рекомендуемые операции
Природный алмаз А1, А2, А3, А5	Шлифование и заточка инструментов из алмаза, других сверхтвердых материалов, керамики
Природный алмаз повышенной прочности А8	Правка шлифовальных кругов
Синтетический алмаз повышенной хрупкости АС4	Предварительное и окончательное шлифование и заточка инструментов из твердых сплавов, керамики
Синтетический алмаз повышенной хрупкости, но более твердый АС6	Профильное шлифование, резьбошлифование, вышлифовывание канавок в инструменте из твердого сплава
Синтетический алмаз повышенной прочности АС15; АС20	Резка, глубинное шлифование инструмента из твердого сплава
Синтетический алмаз высокой прочности АС32	Правка шлифовальных кругов. Предварительное хонингование
Синтетические поликристаллические дробленые алмазы АРВ1, АРК1, АРС3	Предварительное хонингование, резка, правка шлифовальных кругов
Субмикropорошки из природных и синтетических алмазов АМ5, АСМ1, АСМ5	Сверхтонкая доводка и полирование инструмента из твердых сплавов

Таблица 6.7

### Абразивные материалы из эльбора

Абразивный материал	Рекомендуемые операции
Обычной прочности ЛО	Окончательное шлифование и заточка инструментов из быстрорежущих сталей
Повышенной прочности ЛП	Предварительное и окончательное шлифование инструментов из быстрорежущих сталей
Высокой прочности ЛКВ; ЛКВ40; ЛКВ50	Профильное шлифование, резьбошлифование, вышлифовывание канавок инструментов из быстрорежущих сталей



Абразивный материал	Рекомендуемые операции
Обычной прочности с металлическим покрытием ЛОМ	Окончательное шлифование и заточка инструментов из быстрорежущих сталей кругами повышенной стойкости на органической связке

В зависимости от содержания окиси алюминия и легирующих добавок разновидности электрокорунда имеют различный цвет, структуру, свойства и соответствующее обозначение. Электрокорунд обладает наименьшей из всех абразивных материалов микротвердостью (табл. 2.11). Шлифовальные круги из электрокорунда имеют высокую режущую способность и возможность формирования профиля с помощью правки (табл. 6.5). Круги из электрокорунда белого применяют в основном на операциях обработки заготовок из закаленных углеродистых, легированных и быстрорежущих сталей.

Круги из электрокорунда нормального чаще всего применяют на обдирочных и черновых операциях обработки заготовок, в том числе из пластичных материалов.

Зерна из монокорунда имеют высокую механическую прочность и относительно большое число режущих кромок, поэтому круги из монокорунда используют на получистовых и чистовых операциях обработки заготовок из легированных сталей ухудшенной шлифуемости.

Круги из хромтитанистого электрокорунда обладают более высокими режущими свойствами по сравнению с кругами из белого электрокорунда. Это позволяет рекомендовать их для операций с высокими требованиями к качеству поверхностного слоя и точности профиля шлифовальных поверхностей.

В последнее время ряд производителей абразивного инструмента выпускают круги из так называемых спеченных электрокорундов. Абразивное зерно представляет собой конгломерат из микрокристаллов величиной до 1 мкм. При шлифовании происходит самозатачивание абразивного зерна за счет постепенного разрушения микрокристаллов с образованием острых микрокромки. Это обеспечивает постоянство высокой режущей способности круга и более высокую режущую способность по сравнению с монокристаллическим электрокорундом.

Карбид кремния содержит до 99% SiC и производится в двух разновидностях – зеленый и черный, различающихся между собой механическими свойствами. В инструментальном производстве применяют карбид кремния зеленый 63С, 64С. Твердость карбида кремния более высока, чем у электрокорунда, поэтому его применяют для

заточки твердосплавного режущего инструмента, особенно на предварительных операциях для одновременного удаления припуска из твердого сплава и стального корпуса резца. В настоящее время доля применения инструмента из карбида кремния снижается в пользу замены алмазным шлифовальным инструментом.

Широкое применение в машиностроении, особенно в инструментальном производстве, находят инструменты, оснащаемые алмазом, в том числе синтетическим, и кубическим нитридом бора. Обладая большей твердостью по сравнению с электрокорундом и карбидом кремния (табл. 2.11), они не конкурируют между собой, а дополняют друг друга.

Алмазный инструмент для обработки стальных заготовок практически не применяют из-за химического взаимодействия железа и алмаза, состоящего из углерода. Это приводит к относительно быстрому износу алмазного инструмента при шлифовании железоуглеродистых сталей. Экономически и технически целесообразно применение алмазного инструмента для обработки твердого сплава и цветных металлов.

Для шлифования сталей и других железоуглеродистых сплавов используют кубический нитрид бора, производимый в России под торговой маркой «эльбор». Хотя твердость эльбора несколько меньше, чем у алмаза, но значительно выше, чем у других абразивных материалов. Положительной особенностью эльбора является высокая теплостойкость, которая значительно выше, чем у алмаза. Высокая твердость, теплостойкость и химическая инертность к железу обеспечивают его высокую эффективность при шлифовании сталей любых марок по сравнению с алмазным и электрокорундовым инструментом.

### ***Выбор зернистости круга***

Согласно ГОСТ Р 52381-2005 зернистость — это условная числовая характеристика распределения абразивных зерен по размерам. Размер зерен возрастает по мере уменьшения числового обозначения зернистости. По ранее действовавшему ГОСТ 3647-80 зернистость выражалась напрямую размером зерна основной фракции в сотых долях миллиметра. Обозначение зернистости шлифовальных кругов по двум стандартам приведено в табл. 6.8.

Зернистость шлифпорошков из СТМ обозначается в виде дроби, у которой в числителе и в знаменателе даны размеры основной фракции в микрометрах соответственно верхнего и нижнего сита при сортировке зерен, например 400/315, 63/40, 25/20.

## Зернистость шлифовальных кругов

Обозначение		Диапазоны размеров зерен, мм
ГОСТ Р 52381-2005	ГОСТ 3647-80	
F12	160	2,0...1,41
F16	125	1,41...1,0
F20	100	1,19...0,84
F22	—	—
F24	80	0,84...0,6
F30	63	0,71...0,50
F36	50	0,60...0,42
F40	—	—
F46	40	0,42...0,30
F54	32	0,35...0,25
F60	25	0,35...0,25
F80	20	0,25...0,18
F90	16	0,21...0,15
F100	12	0,15...0,11
F120	10	0,13...0,09
F150	8	0,11...0,06
F180	6	0,09...0,05

*Примечание.* При обозначении зернистости круга буква «F» не пишется.

Зернистость влияет на шероховатость обработки, удельный расход абразивных материалов, производительность и себестоимость операции шлифования. Мелкозернистым шлифовальным кругом проще получить низкую шероховатость шлифованной поверхности. Для обеспечения высокой производительности обработки и получения низкой шероховатости шлифованной поверхности шлифование разделяют на две и более операции с последовательным удалением общего припуска  $Z_0$ :

- предварительное шлифование крупнозернистым кругом –  $(0,5...0,6)Z_0$ ;
- чистовое шлифование –  $(0,3...0,4)Z_0$ ;
- окончательное шлифование мелкозернистым кругом –  $(0,05...0,15)Z_0$ .

В табл. 6.9 приведены области применения инструментов различной зернистости (в скобках указано обозначение зернистости по ГОСТ 3647-80).

## Применение абразивных инструментов различной зернистости

Зернистость инструментов		Область применения
Из А и С	Из СТМ	
150; 180 (8; 6)	63/50; 50/40; 40/28	Доводка режущего инструмента; шлифование резьб; отделочное шлифование заготовок
100; 120 (12; 10)	125/100-80/63	Чистовое шлифование; чистовая заточка режущих инструментов
60; 90 (25; 16)	200/160-125/100	Чистовое шлифование; заточка режущих инструментов; предварительное шлифование кругами из СТМ; шлифование фасонных поверхностей
46; 54 (40; 32)	315/250; 250/200	Предварительное и получистовое шлифование заготовок; предварительная заточка режущих инструментов

**Выбор структуры или концентрации**

Шлифовальные круги из электрокорунда, карбида кремния и эльбора на керамической связке состоят из трех фракций: абразивных зерен, связки и газовых пор.

Соотношение объемов абразивного материала, связки и пор в круге называется *структурой круга*. Структуру обозначают номерами от 1 до 12 (объемная концентрация зерен соответственно от 62 до 42%). При увеличении структуры на один номер содержание зерен уменьшается на 2%.

Шлифовальные круги плотной структуры (1–3) имеют очень тесное расположение зерен и малые поры. Такие круги находят ограниченное применение, главным образом для доводочных работ. Наибольшее распространение имеют круги нормальной структуры с 4 по 8. Открытая структура (9–12) характеризуется большим расстоянием между абразивными зёрнами и, соответственно, лучшим отводом и размещением срезаемой стружки, что позволяет работать на повышенных режимах. Однако круги открытой структуры имеют меньшую прочность, а шероховатость шлифованных поверхностей по сравнению с нормальной структурой формируется более грубая. В последнее время находят применение высокопористые круги (структура 13–20), величина пор у которых в поперечнике достигает 2...3 мм и превышает размеры абразивных зерен. Такие круги за счет лучшего теплоотвода из зоны шлифования и условий размещения стружки в межзерновом пространстве обеспечивают высокопроизводительное глубинное шлифование заготовок и заточку режущего инструмента.

С целью повышения эффективности операций шлифования и заточки ОАО «Абразивный завод «Ильич» освоило производство высокопористых кругов из КНБ, названных «Аэробор». Круги «Аэробор» обеспечивают более высокую производительность шлифования и стойкость круга между правками и позволяют исключить прижоги в поверхностном слое изделия [6] по сравнению с кругами из КНБ нормальной структуры.

Рекомендуемые номера структур для шлифовальных кругов из ЭК и КК указаны в табл. 6.10.

Таблица 6.10

Применение шлифовальных кругов различной структуры

Структура	Область применения
1–2	Шлифование заготовок с малым съемом металла кругами на бакелитовой и керамической связках
3–4	Профильное шлифование; шлифование твердых и хрупких материалов; доводка; шлифование с большими подачами или переменной нагрузкой; отрезные работы
5–6	Шлифование круглое наружное, бесцентровое, плоское периферией круга; шлифование металлов с высоким сопротивлением разрыву
7–8	Шлифование вязких металлов с низким сопротивлением разрыву; плоское шлифование торцом круга; внутреннее шлифование; заточка инструментов
9–12	Скоростное шлифование; профильное шлифование мелкозернистыми кругами; шлифование резьбы

У алмазных и эльборовых инструментов (кроме кругов на керамических связках) обозначают не номер структуры, а относительную концентрацию зерен (в процентах), в 4 раза превышающую объемное содержание зерен в объеме алмазоносного слоя: 50, 75, 100, 150. Так, при относительной концентрации в 100% алмазные зерна фактически занимают 25% объема алмазоносного слоя, а остальные 75% объема – связка с наполнителем (абсолютная концентрация алмазов – 25%).

Для операций шлифования обычно выбирают концентрацию, равную 100%. Более высокая концентрация приводит к повышению стоимости круга, а меньшая снижает его режущую способность.

**Выбор твердости**

Величину, характеризующую прочность удержания абразивных зерен связкой, называют *твердостью шлифовального круга*. Чем выше твердость круга, тем прочнее связь между абразивными зернами. Износ более твердых кругов меньше, чем мягких, однако мягкие круги

могут работать в режиме самозатачивания из-за интенсивного обновления режущего профиля.

В табл. 6.11 приведены обозначения твердости кругов по ныне действующему ГОСТ Р 52587-2006 и ГОСТ 19202-80.

Таблица 6.11

Обозначения твердости кругов

Характеристика твердости	ГОСТ Р 52587-2006	ГОСТ 19202-80
Весьма мягкие	F	BM1
	G	BM2
Мягкие	H	M1
	I	M2
	J	M3
Среднемягкие	K	CM1
	L	CM2
Средние	M	C1
	N	C2
Среднетвердые	O	CT1
	P	CT2
Твердые	R	T1
	S	T2
Весьма и чрезвычайно твердые	T	BT
	V	CT

Выбор кругов по твердости зависит главным образом от вида шлифования, точности и формы шлифуемых заготовок, физико-механических свойств обрабатываемого материала, типа станка. Наиболее универсальными для шлифования закаленных конструкционных и быстрорежущих сталей являются круги твердостью K-P (CM2-CT2).

Некоторые общие рекомендации по выбору твердости кругов приведены в табл. 6.12.

При выборе степени твердости необходимо учитывать следующие рекомендации:

- с увеличением твердости шлифуемого материала следует снижать твердость выбираемого круга и наоборот;
- при бесцентровом, внутреннем и плоском шлифовании применяют более мягкие круги, чем при круглом наружном шлифовании;
- при профильном шлифовании и резьбошлифовании необходимо выбирать более твердые круги, чем при шлифовании поверхностей простой формы;

- для снижения вероятности появления на шлифованной поверхности прижогов следует снижать твердость круга.

Таблица 6.12

Применение кругов различной твердости

Степень твердости	Область применения
Мягкие и среднемягкие I; J; K; L (M2; M3; CM1; CM2)	Плоское шлифование; шлифование заготовок и заточка инструментов из твердых сплавов, минералокерамики, закаленных углеродистых и легированных сталей
Среднемягкие и средние L; M; N (CM2; C1; C2)	Круглое, бесцентровое, внутреннее, плоское шлифование заготовок из закаленных сталей; шлифование резьб с крупным шагом; заточка инструментов
Средние и среднетвердые N; O; P (C2; CT1; CT2)	Круглое, бесцентровое шлифование, резьбошлифование заготовок из закаленных и незакаленных углеродистых и легированных сталей и сплавов, чугуна, вязких металлов и материалов; хонингование брусками
Среднетвердые и твердые P; Q; R; S (CT2; CT3; T1; T2)	Обдирочное и предварительное шлифование; шлифование фасонных профилей, прерывистых поверхностей, заготовок малого диаметра; отрезка; бесцентровое шлифование
Весьма твердые и чрезвычайно твердые T; V (BT; CT)	Безалмазная правка шлифовальных кругов; шлифование заготовок с малым съемом материала

**Выбор связки**

Связка предназначена для закрепления абразивных зерен в объеме круга. В зависимости от химического состава и физических свойств веществ, входящих в связку, различают керамические, органические и металлические связки.

*Керамические связки (V)* являются многокомпонентными смесями минеральных материалов. Круги на керамической связке обладают высокими прочностью, теплостойкостью и жесткостью, имеют универсальное применение и используются для разнообразных шлифовальных операций, кроме отрезки.

К *органическим связкам* относятся бакелитовая (B), вулканитовая (R) и др. Бакелитовые связки обладают более высокой прочностью на сжатие по сравнению с керамическими связками. Круги на бакелитовой связке, армированные стеклотканью, способны работать на относительно высоких скоростях резания (80 м/с и выше), например при отрезке заготовок из стального проката.

Вулканитовая связка по сравнению с другими является эластичной, что позволяет создавать тонкие отрезные круги относительно большого диаметра.

Алмазные и эльборовые круги изготавливают на четырех основных связках: органической, керамической, металлической (порошковой и никелевой гальванической). Металлические порошковые связки представляют собой сплавы меди, олова, цинка, алюминия, никеля и других элементов.

Алмазные круги на органической связке обладают хорошими режущими свойствами и работают с относительно небольшими силами и температурами резания. Это создает благоприятные условия для шлифования без охлаждения, поэтому эти круги широко используют при заточке режущего инструмента.

Рекомендации по выбору связок приведены в табл. 6.13 и 6.14.

Таблица 6.13

Связки для кругов из электрокорунда и карбида кремния

Связки	Область применения
Керамические V (K1-K10)	Шлифовальные инструменты всех типов, кроме узких отрезных кругов
Бакелитовые B; BF; B4; BE (B1, B2, B4, BU, B156, БП2)	Круги для скоростного и обдирочного шлифования, плоского шлифования торцом круга, отрезки заготовок и прорезания пазов, заточки режущих инструментов, шлифования прерывистых поверхностей; алмазные и эльборовые круги; хонинговальные бруски
Вулканитовые P и другие органические R1-R5 (B1-B5)	Ведущие круги при бесцентровом шлифовании; гибкие круги для полирования и отделочного шлифования; отрезные круги для прорезания и шлифования пазов; круги для некоторых чистовых операций профильного шлифования; инструмент для доводочного шлифования

Таблица 6.14

Связки для кругов из СТМ

Связки	Область применения
Органические с металлическим наполнителем (B156, БП2, T02)	Круги для заточки твердосплавного инструмента, профильного, получистового и чистового шлифования заготовок твердосплавных и керамических деталей
Органические с минеральным наполнителем (B1, B3, BP)	Круги для чистовой заточки твердосплавного инструмента без применения жидких СОТС



Связки	Область применения
Металлические, обеспечивающие повышенную производительность (МК, М15, М1)	Инструменты для высокопроизводительного глубинного, получистового шлифования и заточки твердосплавного инструмента
Гальваническая никелевая	Алмазные правящие ролики. Инструмент для врезного шлифования фасонными кругами (вышлифовывания стружечных канавок)
Керамическая (К1-10)	Круги для шлифования и заточки инструментов при обработке твердого сплава совместно со сталью
Токопроводящая органическая (БПЗ), металлическая (МВ1, ПМ1, М15, М1)	Инструмент для электролитического шлифования заготовок из твердых сплавов, молибденовых, вольфрамовых и других специальных сталей и сплавов, для электроабразивной заточки режущих инструментов

#### 6.2.4. Маркировка шлифовального инструмента

На каждый шлифовальный круг наносится специальная маркировка. В мировой практике производителей шлифовального инструмента форма и характеристика круга обозначаются буквенными и цифровыми символами и представляются в виде обозначения типа круга и его размера (наружный диаметр, внутренний диаметр, высота и т. д.) (рис. 6.11; 6.12). Затем следует обозначение характеристики круга в определенной последовательности:

- материал абразивного зерна;
- зернистость (размер абразивного зерна);
- твердость круга;
- структура (концентрация зерен) круга;
- тип связки;
- дополнительные обозначения.

Маркировка круга из электрокорунда или карбида кремния должна содержать дополнительно рабочую скорость шлифования (для круга с наружным диаметром 150 мм и более), класс точности инструмента, класс неуравновешенности (на кругах с наружным диаметром 250 мм и более и высотой 6 мм и более).

На кругах из СТМ, кроме инструментов на керамических связках, маркировка в принципе идет в такой же последовательности, только вместо номера структуры указывается относительная концентрация зерен.

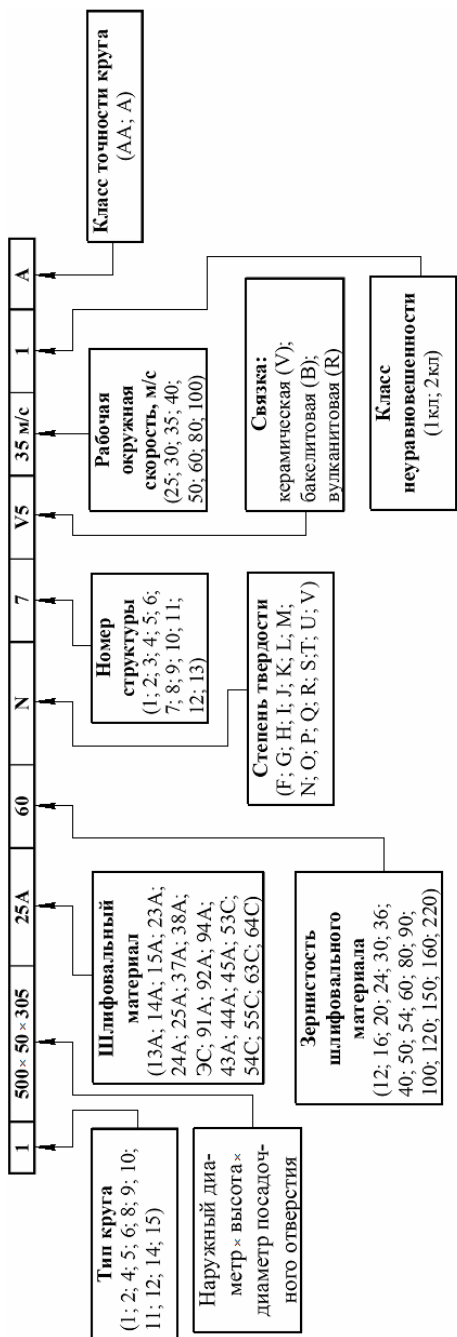


Рис. 6.11. Пример обозначения шлифовального круга из электрокорунда и карбида кремния

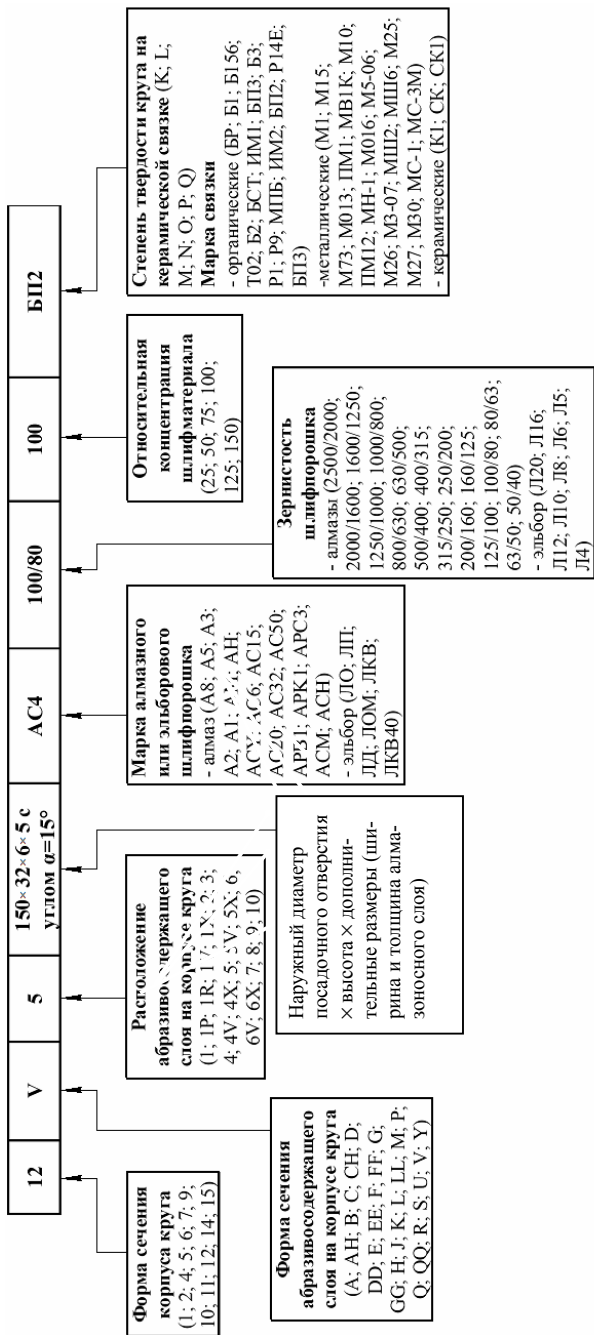


Рис. 6.12. Пример обозначения шлифовального круга из СТМ

В табл. 6.15 и 6.16 приведены примеры выбора характеристик шлифовальных кругов в зависимости от обрабатываемого материала и характера операций абразивной обработки. Обобщенные сведения служат ориентиром при выборе характеристики шлифовального круга по рекомендациям, приведенным в настоящем разделе.

Таблица 6.15

Ориентировочный выбор характеристики шлифовальных кругов при шлифовании стальных заготовок

Характер операции	Характеристика шлифовального круга				
	материал зерна	зернистость	твердость	структура	связка
Отрезка заготовок	14А	60...46 (25...40)	P...S (СТ2...Т2)	—	В, R
Бесцентровое шлифование: рабочий круг	24А	90...60 (16...25)	L...O (СМ2...СТ1)	6...8	V
ведущий круг	14А	90, 80 (20,16)	L—N(СМ2-С2)	8...10	P
Круглое, плоское, внутреннее шлифование: предварительное	15А, 24А, 91А	36, 54 (32, 50)	J...N(М3...С2)	6...8	V(К)
чистовое	24А, 43А, ЛО	90...46 (16...40)	К...N(СМ1...С2) —	6...8	V(К)
окончательное	24А, 43А, ЛО	125/100 90...60 (16...25) 80/63	L...O(СМ2...СТ1) —	4...5 6...8 4...5	В (Б) V (К) В (Б)
Глубинное шлифование	24А, 91А	90...46 (16...25)	M...O (С1...СТ1)	5...8	В

Таблица 6.16

Рекомендуемые характеристики шлифовальных кругов на операциях заточки

Обрабатываемый материал	Характер операции	Характеристика шлифовального круга				
		материал зерна	зернистость	твердость	структура, концентрация зерен, %	связка
Быстро-режущая сталь	предварительная	24А, 43А	60...46,(25...40)	J...К (М3...СМ1)	6...8	V, В
	чистовая	ЛО	63/40...40/28	—	100	V, В
	доводка	ЛО	50/40...28/20	—	100	V, В

Обра- баты- ваемый материал	Характер операции	Характеристика шлифовального круга				
		материал зерна	зернистость	твердость	структура, концен- трация зерен, %	связ- ка
Твердый сплав	предвари- тельная	АС2, АС6	125/100...100/80	—	100	М
		63С	60...46,(25...40)	L, К (СМ2, СМ1)	5–7	V
	чистовая	АС2, АС6	100/80...80/63	—	100	В
	доводка	АС2, АСМ	80/63...40/28	—	50, 100	В

### 6.3. Правка шлифовальных кругов и правящие инструменты

В процессе эксплуатации шлифовальные круги изнашиваются вследствие их механического, теплового и химического взаимодействия с обрабатываемым материалом. В зависимости от технологических условий шлифования износ рабочей поверхности круга (РПК) проявляется в виде притупления режущих абразивных зерен, их выкрашивания, выпадения из связки, забивания пор и межзернового пространства шламом, состоящим из смеси абразивных частиц, стружки, твердых и жидких фракций масел и парафинов СОТС, налипания (адгезии) металла на абразивные зерна. Из-за этого через некоторое время работы (период стойкости круга) шлифовальный круг теряет режущую способность или геометрическую форму и не может производить дальнейшую обработку заготовок с заданными показателями. Для восстановления режущей способности (формы) круга проводят правку его рабочей поверхности с помощью различных правящих инструментов.

По назначению правку подразделяют на первичную, когда вновь установленному на станок шлифовальному кругу придается требуемый профиль, и повторно-периодические, когда для восстановления режущей способности круга с его рабочей поверхности снимается изношенный слой глубиной порядка 0,05...0,2 мм. Частота выполнения повторных правок зависит от условий шлифования, шлифуемости материала заготовки и требуемой точности обрабатываемых поверхностей.

От рационального выбора технологии правки и правящего инструмента в значительной степени зависит достижение требуемой точности размеров и шероховатости шлифуемых поверхностей изделия. Правящие инструменты (алмазные и безалмазные) различаются по технологическому назначению, конструкции, габаритам, способам

крепления в правящем приспособлении, по методам и кинематическим особенностям правки [9].

Технологические методы правки шлифовальных кругов инструментами различных конструкций можно разделить на механические и специальные (например, правка с использованием электрического тока).

Механические методы правки кругов включают правку обтачиванием, шлифованием и накатыванием.

Правку круга *обтачиванием* производят однокристалльными или многокристалльными правящими инструментами. Инструменты первого типа оснащены одним кристаллом алмаза и предназначены для правки шлифовальных кругов как простого, так и сложного профиля. Для сложнопрофильной правки кристалл алмаза подвергают дополнительной огранке, придавая его вершине определенный профиль. Как правило, стойкость таких инструментов относительно невысока (от нескольких сотен до 1...2 тысяч правок), но этот недостаток компенсируется высоким качеством правки круга. К числу однокристалльных инструментов относятся алмазные правящие резцы, алмазные иглы и алмазы в оправе.

Алмазные правящие резцы (рис. 6.13,*а*) применяют для профилирования шлифовальных кругов при изготовлении инструментов сложной формы, в том числе зубообрабатывающих. Для изготовления резцов используют природные алмазы массой 0,61...1,10 карата. Из-за ограниченной стойкости, сложной технологии изготовления, связанной с обработкой алмазных кристаллов, резцы отличаются сравнительно высокой стоимостью, поэтому имеют ограниченное применение. Однако их эксплуатация экономически оправдана в связи с высокой производительностью и точностью профильного шлифования деталей кругами, правленными этими инструментами.

Алмазные иглы (рис. 6.13,*б*) предназначены в основном для правки кругов, имеющих сложный профиль, в том числе односторонних резьбошлифовальных кругов. Для изготовления игл применяются высококачественные природные алмазы массой 0,10...0,25 карата. Рабочая часть кристалла алмаза гранится по форме четырехгранной пирамиды с углом при вершине, равном 60° или 90°.

Алмазы в оправе (рис. 6.13,*в*) являются универсальными правящими инструментами и предназначены для правки шлифовальных кругов простого и сложного профиля. Для всех типов инструмента согласно ГОСТ 22908-78 используют природные алмазы массой 0,02...2,10 карата без дополнительного гранения.

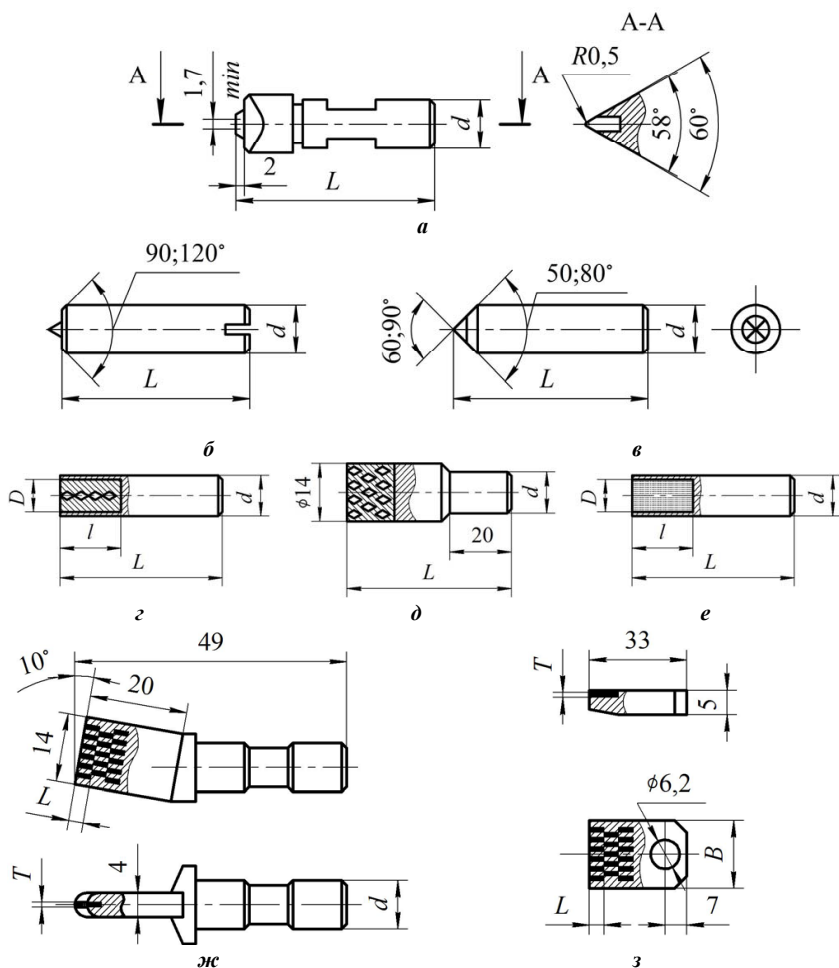


Рис. 6.13. Инструменты для правки круга обтачиванием: а) алмазный резец; б) алмаз в оправе; в) алмазная игла; е) однокристалльный карандаш, тип 01; д) многокристалльный карандаш, тип 02; е) многокристалльный с неориентированно расположенным алмазом, тип 4; ж) алмазная гребенка с припаянной пластиной; з) сменная алмазоносная пластина

К многокристалльным алмазным правящим инструментам относят алмазные карандаши и алмазные гребенки.

Алмазные карандаши изготавливают из природных и синтетических алмазов. Карандаши по ГОСТ 607-80 выпускают следующих типов: 01 – с алмазами, расположенными цепочкой по оси карандаша

(рис. 6.13,з); 02 – с алмазами, расположенными слоями (рис. 6.13,д); 03 – с алмазами, расположенными на сферической поверхности; 04 – с неориентированным расположением алмазов (рис. 6.13,е). Стойкость правящих карандашей более высокая (1000...20000 правок), а стоимость гораздо ниже, чем у алмазов в оправе, алмазных игл и алмазных резцов. Карандаши относятся к числу правящих инструментов, находящихся наиболее широкое применение на операциях шлифования в основном для правки шлифовальных кругов простого профиля. Наличие значительной контактной поверхности карандашей с необработанными алмазными кристаллами не позволяет править сложнопрофильные вогнутые поверхности РПК.

Алмазные гребенки (алмазные пластины) изготавливают по ТУ из кристаллов, ориентированных относительно плоскости вращения круга. Они являются в определенной степени альтернативой однокристальным инструментам, обладают более высокой износостойкостью, чем алмазный резец, игла или алмаз в оправе, и применяются для правки по копиру профильных шлифовальных кругов. Алмазные гребенки изготавливают с напайными (рис. 6.13,ж) или механически закрепляемыми пластинами (рис. 6.13,з).

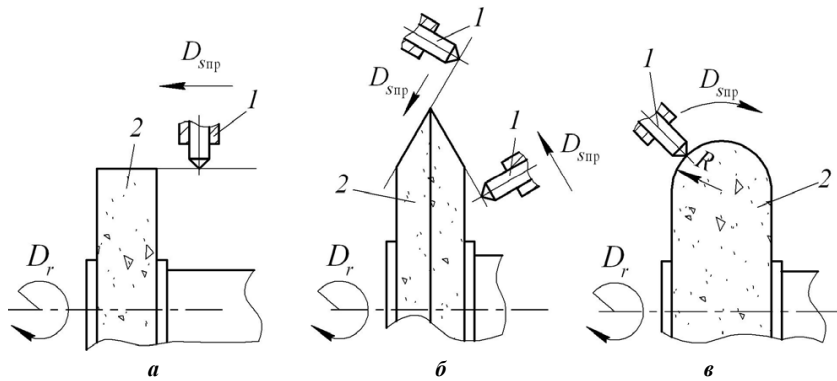


Рис. 6.14. Правка шлифовальных кругов прямого (а), углового (б) и радиусного (в) профилей методом обтачивания: 1 – правящий инструмент; 2 – шлифовальный круг

Алмазные карандаши, алмазы в оправе и алмазные иглы устанавливают в приспособлениях для правки таким образом, чтобы направление их оси составляло с горизонтальной диаметральной плоскостью шлифовального круга угол 12...15°. Это дает возможность периодичес-



кими поворотами правящего инструмента вокруг оси вводить в работу неизношенные участки его рабочей поверхности.

Правка обтачиванием заключается в том, что правящий инструмент с относительно высокой скоростью производит разрушение и удаление с РПК затупленных абразивных зерен, связки, а также металлической стружки, находящихся в межзерновом пространстве круга. Главное движение резания  $Dg$  со скоростью  $V_k$  совершает шлифовальный круг, а движение продольной подачи  $Ds_{пр}$  величиной  $S_{пр}$  — правящий инструмент. В зависимости от траектории движения одного или нескольких правящих инструментов формируется соответствующий профиль рабочей поверхности шлифовального круга, например прямой (рис. 6.14,а), угловой (рис. 6.14,б), радиусный (рис. 6.14,в) и др.

Основная проблема правки обтачиванием заключается в обеспечении правящему инструменту движения подачи по требуемой траектории с максимально возможной точностью. Чем выше требования к точности шлифуемой поверхности, тем точнее должен быть профиль шлифовального круга. Для этого шлифовальные и заточные станки оснащают правящими приспособлениями для обеспечения движения подачи инструмента с применением специальных шаблонов, пантографических устройств или систем ЧПУ.

Пантограф (рис. 6.15), жестко зафиксированный на рабочем столе

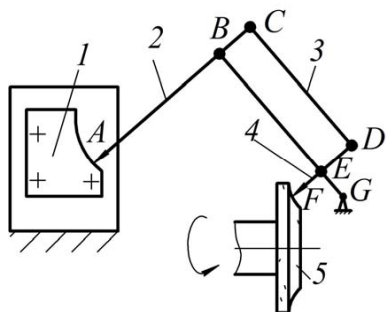


Рис. 6.15. Правка шлифовального круга с применением пантографа:

1 — шаблон; 2 — копирный палец;

3 — пантограф; 4 — правящий

инструмент; 5 — шлифовальный круг

профилешлифовального станка в точке  $G$ , представляет собой металлическую рамку в виде параллелограмма  $BCDE$  с шарнирами в вершинах. При перемещении (ручным) копирного пальца 2 по профилю шаблона 1 рабочая вершина правящего инструмента 4

повторяет профиль, уменьшен-

ный в пропорции  $i = \frac{AB}{FE} = \frac{GB}{GE}$ . За

счет этого обеспечивается повышение точности профиля круга 5,

а следовательно, и повышение

точности профиля шлифуемой поверхности. Так, если профиль шаблона выполнен с точностью до 20 мкм, то при  $i = 10$  точность профиля круга может достигать 2 мкм.

В настоящее время производство станков с пантографом заменяется выпуском станков с ЧПУ. Современные шлифовальные станки оснащают системой ЧПУ для автоматической правки кругов вместо правящих устройств с ручным управлением. Если при токарной, фрезерной обработке, профильном шлифовании методом огибания систему ЧПУ применяют для управления перемещением режущего инструмента, то при шлифовании методом копирования главной задачей ЧПУ является профильная правка шлифовальных кругов.

При правке *обтачиванием* могут применяться алмазные обтачивающие ролики (правящие диски) относительно простой формы, совершающие движение подачи по траектории, эквидистантной поверхности шлифуемого изделия. Правку таким инструментом применяют в инструментальном производстве, в том числе на шлифовальных станках с ЧПУ. На рис. 6.16,а показана схема правки, при которой два обтачивающих алмазных ролика 3, перемещаясь с помощью системы ЧПУ по координатным осям  $W$  и  $V$ , формируют боковые поверхности профиля рабочей поверхности круга 2.

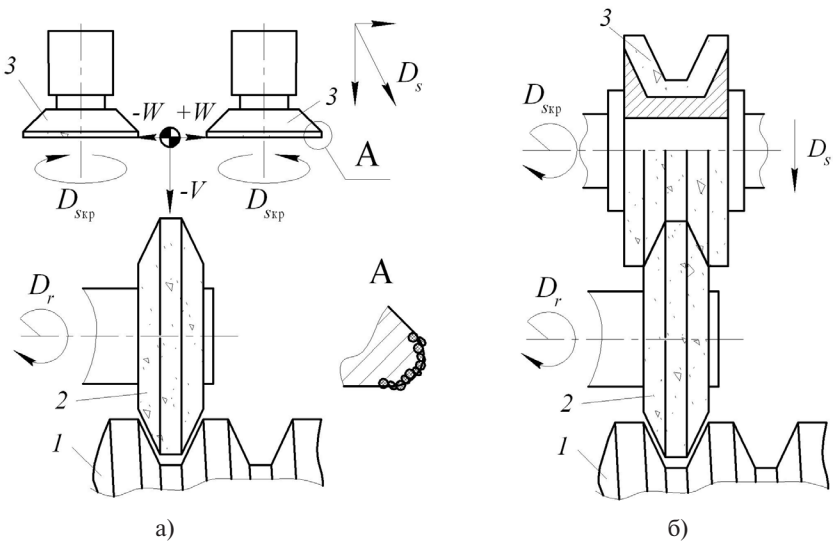


Рис. 6.16. Алмазная правка круга обтачивающим (а) и профильным (б) роликами: 1 – заготовка; 2 – шлифовальный круг; 3 – ролик; 4 – алмазный слой

Обтачивающий ролик обладает высокой износостойкостью, так как время контакта его алмазных зерен со шлифовальным кругом

меньше за счет вращательного движения, чем время контакта алмазных правящих инструментов, работающих по методу обтачивания. Это дает возможность формировать сложный профиль рабочей поверхности круга с высокой точностью. За счет этого алмазные зерна испытывают меньшие тепловые нагрузки. Обтачивающие алмазные ролики применяются чаще всего на операциях шлифования зубчатого и резьбового профиля инструментов, преимущественно на станках с программным управлением.

Правка копированием заключается в том, что удаление с рабочей поверхности круга затупленных абразивных зерен производится алмазным правящим роликом, которому сообщается принудительное вращение с окружной скоростью 5...20 м/с – несколько меньшей, чем окружная скорость круга.

Вращение правящего ролика 3 по отношению к направлению вращения шлифовального круга 2 может быть попутным или встречным. Ролик 3 представляет собой металлический диск, на рабочей поверхности которого нанесен алмазоносный слой 4, состоящий из большого числа алмазных зерен, скрепленных металлической связкой (рис. 6.16). Профиль рабочей поверхности ролика 3 соответствует профилю шлифуемой поверхности детали 1.

По сравнению с другими правящими инструментами такие алмазные ролики обладают рядом важных технико-экономических преимуществ, которые особенно ярко проявляются в условиях крупносерийного и массового производства. Во-первых, ролик обладает самой высокой стойкостью среди всех правящих алмазных инструментов (100000 и более правок). Во-вторых, правка врезанием сразу на всю ширину круга происходит за относительно короткое время, что позволяет совместить правку с временем загрузки станка и обеспечивает сокращение вспомогательного времени на обработку. Однако в условиях мелкосерийного и среднесерийного инструментального производства этот правящий инструмент имеет ограниченное применение из-за его высокой стоимости.

Безалмазные правящие инструменты в современном машиностроении используют значительно реже, чем алмазные, в основном для правки *накатыванием*. Этот метод применяют в инструментальном производстве при шлифовании сложнопрофильных поверхностей в условиях мелкосерийного производства, когда использование сложных правящих приспособлений или профильных алмазных роликов неэкономично. Правка накатыванием (рис. 6.17) представля-

ет собой процесс дробления абразивных зерен и связки под действием радиальной силы  $P$  при взаимном вращении круга и правящего инструмента – стального ролика, на рабочей поверхности которого выполнены канавки для удаления абразивных частиц. Вращение сообщается кругу или ролику в зависимости от конструкции шлифовального станка. Правка накатыванием характеризуется высокой режущей способностью выправленного круга и простотой оснастки. Для изготовления накатных роликов применяют закаленные инструментальные стали (HRC 60...64). Диаметр ролика выбирается из соотношения  $d_p = (0,2...0,25)D_k$ , где  $D_k$  – диаметр шлифовального круга. Накатные ролики, в отличие от алмазных правящих инструментов, относительно дешевы, их изготавливают непосредственно в инструментальном производстве для выполнения конкретных операций шлифования, а не на специализированных предприятиях по производству алмазных инструментов.

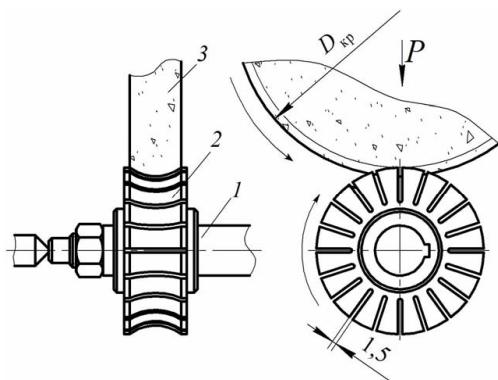


Рис. 6.17. Правка шлифовального круга методом накатывания:  
1 – оправка; 2 – накатной ролик; 3 – шлифовальный круг

Правка шлифовальных кругов из СТМ алмазными правящими инструментами малоэффективна из-за того, что твердость правящих алмазов сопоставима с твердостью зерен из алмаза или эльбора. Правка таких кругов производится крупнозернистыми абразивными кругами из электрокорунда или карбида кремния. Вместо шлифуемой заготовки в центрах станка устанавливают абразивный круг, которым шлифуют круг из СТМ, закрепленный на шлифовальном шпинделе. В процессе правки абразивные зерна круга вышлифовывают связку заправляемого круга. В результате удаления поверхност-

ного слоя связки затупившиеся зерна из СТМ выпадают, и режущий профиль круга обновляется.

Круги из СТМ на керамических связках возможно править алмазными многокристальными карандашами. При правке алмазных и кубонитовых кругов на металлических связках хорошо себя зарекомендовали методы, основанные на использовании электрофизических процессов обработки, например, нашедшие наиболее широкое распространение электроэрозионный и электрохимический методы правки.

Важным преимуществом *электроэрозионного метода* правки является то, что по сравнению с правкой абразивными кругами он повышает режущую способность алмазных кругов в 2...3 раза. Схема реализации этого метода приведена на рис. 6.18. Шлифовальный круг снимают со шлифовального станка и устанавливают на электроэрозионный станок. Правка производится вращающимся дисковым или стержневым электродом-инструментом 1 с профилем, зеркальным профилю круга 2. Электрод изготавливают из графита, что дает возможность обрабатывать его непосредственно на станке с помощью фасонного мастер-резца 3. Такая схема обработки может быть реализована на станках, модернизированных для электроэрозионной обработки, или на серийных электроэрозионных и электроискровых станках при оснащении их соответствующими приспособлениями. Правка производится в ванне с жидкостью-диэлектриком 4 (керосин, трансформаторное масло и т. п.).

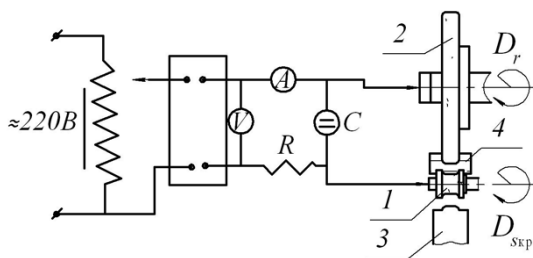


Рис. 6.18. Схема электроэрозионной правки шлифовальных кругов из СТМ на токопроводящих связках

При *электрохимической* правке шлифовальных кругов на металлических связках правящий инструмент вместе с алмазным кругом включается в электрическую цепь постоянного тока, причем правящий инструмент из токопроводящего материала является катодом, а круг — анодом. В зону правки подается рабочая жидкость-диэлектрик. В от-

личие от электроэрозионной правки, где обновление зерен происходит под действием электрического импульса, при электрохимической правке осуществляется анодное растворение связки круга. В результате растворения металла связки изношенные зерна выпадают, и на рабочей поверхности круга формируется новый слой режущих зерен.

Режимы правки абразивных кругов алмазными резцами, карандашами, гребенками и алмазами в оправках для наиболее распространенных в инструментальном производстве операций приведены в табл. 6.17.

Таблица 6.17

Рекомендуемые режимы правки абразивных кругов [9]

Вид шлифования	Шероховатость шлифованных поверхностей $Ra$ , мкм	Режимы правки	
		Продольная подача, м/мин	Поперечная подача, мм/дв. ход
Круглое наружное напроход	0,80	0,3...0,4	0,010
	0,40	0,4...0,3	0,010
	0,20	0,1...0,2	0,010
Круглое наружное врезное (профильное)	0,80	0,15...0,25	0,010
	0,40	0,08...0,15	0,010
	0,20	0,05...0,08	0,005
Внутреннее	0,80	2,0...3,0	0,010
	0,40	1,0...2,0	0,005
Плоское торцом круга	0,40	0,15...0,2	0,02...0,03
	0,20	0,05...0,08	0,01...0,02
Бесцентровое напроход	0,40	0,10...0,15	0,02...0,03
	0,20	0,08...0,10	0,02...0,03

### Вопросы для самоконтроля

1. Назовите основные причины возникновения прижогов на шлифованных поверхностях заготовок.
2. Как изменяется микротвердость поверхностного слоя шлифованной заготовки под действием температурного и силового факторов процесса шлифования и заточки?
3. За счет каких технологических факторов можно снизить контактные температуры при шлифовании и заточке?
4. Как обеспечить повышение производительности шлифования, не снижая качества поверхностного слоя детали?
5. Как влияет скорость резания при шлифовании на толщину срезаемого слоя единичным абразивным зерном?
6. Назовите основные преимущества и недостатки высокоскоростного глубинного шлифования.

7. Шлифовальные круги из каких абразивных материалов рекомендуется применять при шлифовании и заточке твердых сплавов и быстрорежущей стали?
8. Выберите форму шлифовального круга для заточки передней поверхности цилиндрической фрезы с винтовыми стружечными канавками.
9. Выберите характеристики шлифовальных кругов для предварительной и окончательной заточки инструмента из быстрорежущей стали.
10. Какие правящие инструменты применяют при правке шлифовального круга обтачиванием, накатыванием и шлифованием?

### 7.1. Операции шлифования

#### 7.1.1. Шлифование цилиндрических, конических и плоских поверхностей

После выполнения операций термической обработки – закалки и отпуска – заготовка приобретает твердость, соответствующую требованиям рабочего чертежа, поэтому вся последующая механическая обработка ее поверхностей производится на операциях абразивной обработки (шлифование, заточка, доводка и др.).

Первой такой операцией, как правило, назначается операция зачистки и обработки технологических баз, которые после закалки и отпуска покрываются окисной пленкой, окалиной, а из-за термических напряжений при закалке заготовки могут деформироваться, что приводит к изменению положения базовых поверхностей. Кроме того, для заключительных операций технологического процесса требуются базовые поверхности с большей размерной точностью и меньшей шероховатостью ( $Ra$  1,25...0,40 мкм), чем для операций лезвийной обработки.

У инструмента осевого класса зачистку центровых отверстий производят на специальных центровально-шлифовальных или токарных станках шлифовальной головкой или зенковкой конической формы с углом  $60^\circ$ . После зачистки центровых отверстий заготовки проходят последовательную обработку хвостовой и рабочей части на круглошлифовальных станках. Установку и закрепление заготовки осуществляют с помощью поводкового патрона и невращающихся жестких центров, обеспечивающих более высокую точность базирования, чем вращающиеся или плавающие центры токарного станка. Заготовки сверл с цилиндрическим хвостовиком шлифуют по наружному диаметру на бесцентровошлифовальных станках с продольной подачей. В этом случае необходимости в центровых отверстиях нет, так как технологической базой служит сама обрабатываемая наружная поверхность (рис. 7.1). Заготовка 3 опирается на опорный нож 5 и проходит в зазор между рабочим 1 и ведущим 2 кругами. Ось вращения заготовки располагается ниже осей вращения кругов, что обеспечивает ее ориентацию и базирование. Ведущий круг 2 за счет силы трения, превышающей силу резания, обеспечивает вращательное движение заготовки, а рабочий круг 1 производит шлифование. Оси вращения кругов в ори-



горизонтальной плоскости находятся относительно друг друга под некоторым углом ( $0,5...3,0^\circ$ ), за счет чего возникает составляющая сила в осевом направлении, обеспечивающая продольную подачу  $S_{\text{п}}$  заготовки.

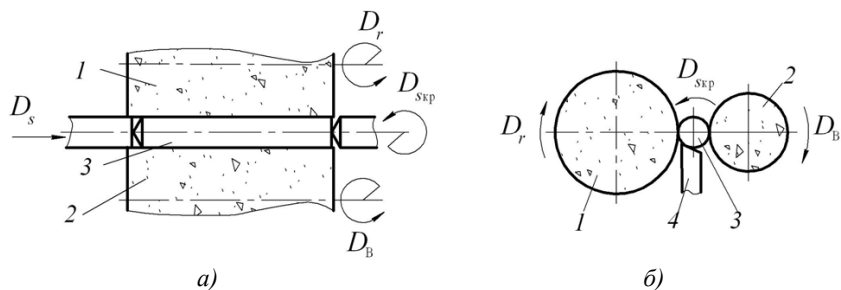


Рис. 7.1. Шлифование на бесцентровошлифовальном станке с продольной подачей: 1 – рабочий круг; 2 – ведущий круг; 3 – заготовка; 4 – опорный нож

В условиях серийного и крупносерийного производства при обработке сверл применяют совмещенное шлифование рабочей цилиндрической поверхности из быстрорежущей стали и конической поверхности хвостовика из конструкционной стали на бесцентровошлифовальном станке с движением поперечной (врезной) подачи  $D_s$  (рис. 7.2). Так как обрабатываемость указанных сталей существенно различается, то обработка ведется одновременно двумя шлифовальными кругами различных характеристик.

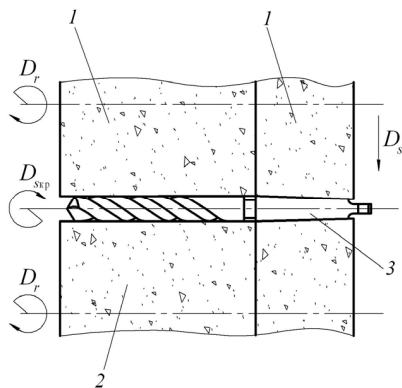


Рис. 7.2. Совмещенное бесцентровое шлифование заготовки сверла: 1 – рабочие круги; 2 – ведущий круг; 3 – заготовка

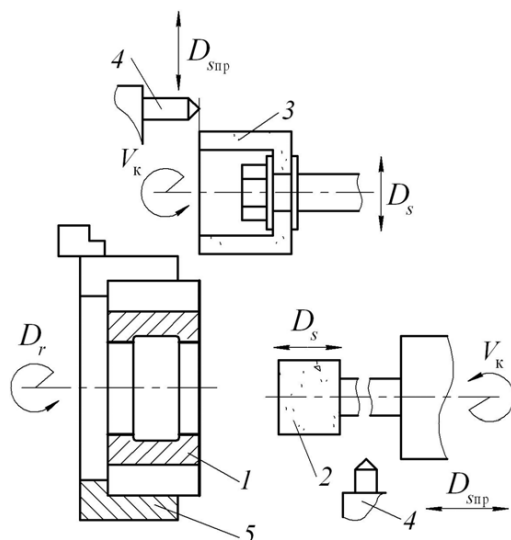


Рис. 7.3. Шлифование базовых поверхностей инструмента насадного класса на внутришлифовальном станке: 1 – заготовка; 2 – шлифовальный круг для обработки отверстия; 3 – шлифовальный круг для обработки торца; 4 – правящие инструменты; 5 – разжимная втулка

Шлифование технологических баз – отверстия и торцов – заготовок насадного и дискового инструмента производится на внутришлифовальных станках или круглошлифовальных станках, имеющих внутришлифовальный шпиндель. На рис. 7.3 представлена схема последовательной обработки отверстия и торца на внутришлифовальном станке. Обработка поверхностей отверстия и торцов с одного установка

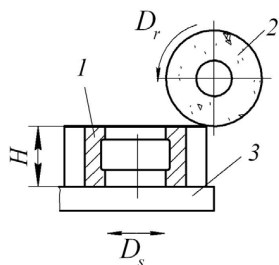


Рис. 7.4. Шлифование базовой поверхности инструмента насадного класса на плоскошлифовальном станке: 1 – заготовка; 2 – шлифовальный круг; 3 – магнитная плита

исключает погрешность базирования, связанную с неперпендикулярностью торца относительно оси отверстия. Если наружная поверхность заготовки имеет цилиндрическую форму, ее закрепление производится, как правило, в самоцентрирующем патроне. Если на наружной поверхности выполнены стружечные канавки, как, например, у заготовок цилиндрических фрез, применяют спе-

специальные приспособления типа цилиндрических разжимных втулок 5 (рис. 7.3). Второй торец заготовки насадного и дискового инструмента обрабатывают на плоскошлифовальных станках (рис. 7.4). Здесь базирование происходит по поверхности уже обработанного торца с установкой заготовки на электромагнитной плите (табл. 1.3).

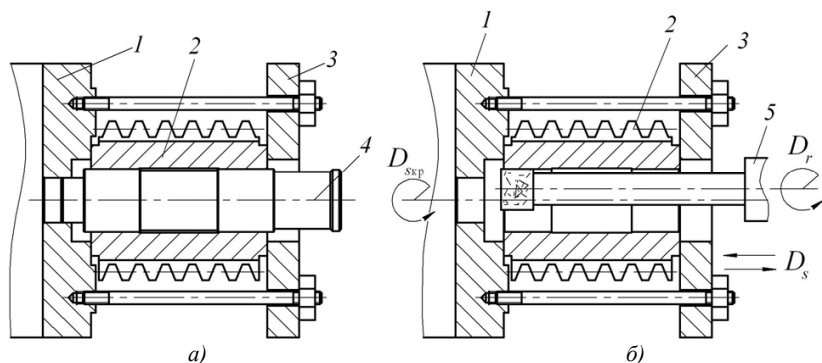


Рис. 7.5. Шлифование отверстия заготовки червячной фрезы на внутришлифовальном станке: а) установка заготовки; б) шлифование отверстия: 1 – планшайба; 2 – заготовка; 3 – диск; 4 – контрольная оправка; 5 – оправка шлифовального круга

Возможен другой вариант обработки базовых поверхностей инструмента насадного класса, при котором обработка заготовок точного инструмента, например червячных фрез, долбяков, шеверов, производится на внутришлифовальном и круглошлифовальном станках. В этом случае сначала шлифуют отверстие. Заготовку 2 устанавливают в специальном приспособлении (рис. 7.5). В осевом направлении ее прижимают к торцу планшайбы 1, а в радиальном регулируют положение относительно оси вращения с помощью контрольной оправки 4 и зажимают диском 3. После обработки отверстия заготовку устанавливают на центровую оправку с малой конусностью (1:100 и более). Так как зазор между отверстием заготовки и конической оправкой отсутствует, то обеспечивается высокая соосность оси заготовки и оси шпинделя станка. Заготовка удерживается на конической оправке за счет сил трения. Шлифование каждого торца заготовки производится на круглошлифовальном станке торцом шлифовального круга.

Технологические базы плоского инструмента обрабатывают на плоскошлифовальных станках. Установка и закрепление заготовки производится на электромагнитных плитах.

Как правило, операции шлифования цилиндрических, конических и плоских поверхностей по содержанию и методам обработки аналогичны операциям обработки деталей машин, описание которых достаточно широко освещено в литературе [19; 20; 24; 25]. Особенности операций шлифования в инструментальном производстве обусловлены конструкцией рабочей части изготавливаемого инструмента, физико-механическими свойствами материала, более высокой по сравнению с деталями машин точностью размеров, а также сложной формой обрабатываемых поверхностей.

### 7.1.2. Операции профильного шлифования

Многие виды режущего инструмента имеют рабочие поверхности, образующие которых состоят из координатно-связанных участков кривых или ломаных линий. Их шлифование сопряжено с высокими требованиями к точности размеров, шероховатости поверхности и качеству поверхностного слоя. Для их обработки применяют профильное шлифование, осуществляемое методами огибания и копирования.

Шлифование *методом огибания* производится за счет управляемого движения шлифовального круга или заготовки. В этом случае каждый элемент профиля шлифуется последовательно. Шлифование производится кругами относительно простой формы с прямолинейным, угловым или радиусным профилем. Правка шлифовального круга при обработке методом огибания не требует специальных приспособлений, а точность профиля шлифуемых поверхностей зависит от точности станка и точности позиционирования заготовки в приспособлении на каждом переходе.

В зависимости от требуемой точности обработки профиля, производительности и параметров шлифуемой заготовки метод огибания реализуется:

- на плоскошлифовальных станках, оснащенных набором поворотных и делительных приспособлений;
- на профилешлифовальных станках, работающих по принципу копирования шлифуемого профиля с чертежа или шаблона, выполненного в увеличенном масштабе, и его воспроизведения в уменьшенном виде на заготовке с помощью механической (пантограф) или оптической систем;
- на профилешлифовальных станках с ЧПУ.

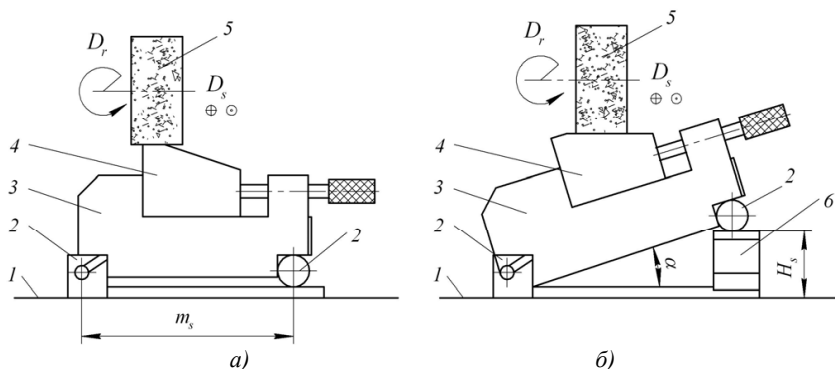


Рис. 7.6. Схема шлифования двух плоскостей методом огибания в синусных тисках: 1 – стол шлифовального станка; 2 – калиброванные ролики; 3 – синусные тиски; 4 – заготовка; 5 – шлифовальный круг; 6 – набор мерных плиток

На плоскошлифовальных станках обрабатывают разнообразный режущий инструмент, главным образом относящийся к классу плоского инструмента: стержневые фасонные резцы, плоские протяжки, шлицевые круглые протяжки и др. Последовательная обработка координатно-связанных поверхностей заготовки производится за одну операцию. Поворот заготовки на необходимый угол обеспечивается специальными приспособлениями: синусными тисками (рис. 7.6), поворотной магнитной плитой, координатно-делительным устройством и др. После шлифования одной плоскости (рис. 7.6,а) приспособление вместе с заготовкой поворачивают на угол  $\alpha$  (рис. 7.6,б), который устанавливается с помощью набора мерных плиток высотой

$$H_s = m_s \sin \alpha, \quad (7.1)$$

где  $m_s$  – расстояние между осями калиброванных роликов.

Кроме плоских поверхностей, методом огибания можно шлифовать выпуклые криволинейные поверхности. В этом случае участки шлифуются после совмещения центра поворота заготовки с осью вращения приспособления. Обработка производится на плоскошлифовальных станках шлифовальным кругом прямого профиля с применением поворотного приспособления, устанавливаемого на магнитной плите. Приспособление служит для закрепления и поворота заготовки.

Для обработки поверхностей с точностью до 5...10 мкм применяют профилишлифовальные станки с оптической системой, позволяющей увеличить масштаб изображения объекта. На таких станках шли-

фуют заготовки штампов, пресс-форм, профильные призматические и круглые резцы, шаблоны и др. Шлифование профиля производят аналогично обработке на плоскошлифовальных станках – путем последовательного ручного или автоматического перемещения круга по образующей шлифуемой заготовки. Отличием является то, что контроль за процессом шлифования производят с помощью оптической системы, основанной на принципе совмещения профиля заготовки с профилем чертежа, выполненного в увеличенном (50:1) масштабе, и проецировании их на экран. На таком принципе работают оптико-шлифовальные станки моделей 395М, 3951ВФ1У и др.

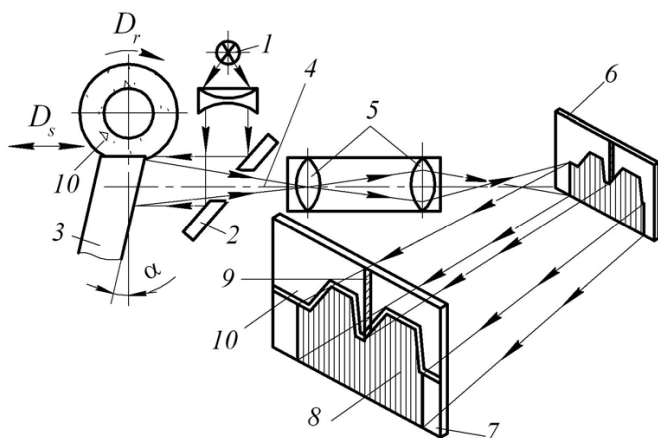


Рис. 7.7. Схема шлифования на оптикошлифовальном станке

На рис. 7.7 приведена принципиальная схема шлифования профиля фасонного резца на оптикошлифовальном станке. От источника света 1 лучи направляются отражателем 2 на шлифуемую заготовку 3, установленную в поворотных тисках. Отраженный от нее поток лучей проходит через диафрагму 4, систему линз 5 и проецирует профиль заготовки на зеркало 6, которое направляет увеличенное изображение на экран 7. Изображение заготовки 8 получается в виде резкого темного контура на ярко освещенном экране. Вместе с контуром заготовки в увеличенном масштабе виден контур шлифовального круга 9. На экран 7 предварительно накладывают контур готовой детали, выполненный на прозрачной кальке с рабочего чертежа в масштабе 50:1. Таким образом, на экране одновременно оказываются видны изображения профилей шлифуемой заготовки 8, детали 10 и круга 9.

Это дает возможность визуально определить, какой размер припуска и в каком месте профиля заготовки следует сошлифовать, чтобы получить заданный профиль детали. При перемещении круга при помощи механизмов подачи шлифовальной бабки его режущая кромка в виде контура на экране перемещается по линии увеличенного чертежа, постепенно совмещая контур заготовки с контуром чертежа.

Шлифовальный круг станка, кроме управляемых перемещений вдоль контура заготовки, совершает возвратно-поступательное перемещение  $S_{пр}$  вдоль обрабатываемой поверхности. Такое перемещение может быть направлено под требуемым углом  $\alpha$  к обрабатываемой поверхности, контур которой контролируется. Это необходимо, например, при заточке задних поверхностей резцов для формирования задних углов.

В настоящее время производят станки с автоматическим перемещением суппортов при помощи электроприводов, управляемых от системы ЧПУ. Профилешлифовальные станки с ЧПУ обеспечивают высокоточное шлифование профилей заготовки инструмента призматической формы, состоящих из прямых и криволинейных участков. На станках возможно управляемое перемещение заготовки относительно шлифовального круга по двум осям  $X$  и  $Z$  в горизонтальной плоскости, поворот шлифовального круга относительно вертикальной оси, а также программируемая правка круга. Станки оснащаются оптической системой, которая обеспечивает непосредственное наблюдение за процессом шлифования на мониторе.

Разновидностью абразивной обработки методом огибания является шлифование обкатыванием. В инструментальном производстве его применяют для получения профиля зуборезных инструментов – долбяка и шевера (рис. 7.8). Эвольвентный профиль зубьев шлифуют на специальных зубошлифовальных станках с аналоговой системой управления траекторией обката и более современных станках с ЧПУ. Сначала обрабатывают одну сторону всех зубьев, затем

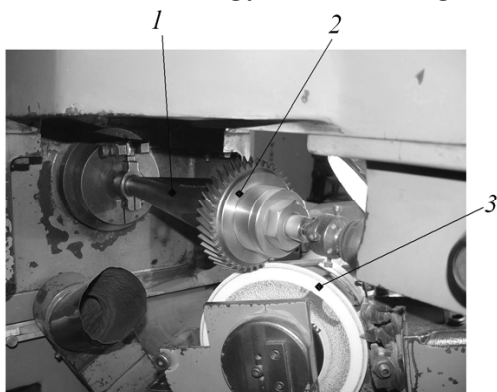


Рис. 7.8. Шлифование профиля зубьев долбяка: 1 – оправка; 2 – заготовка долбяка; 3 – шлифовальный круг

оправку с заготовкой переворачивают на  $180^\circ$  и шлифуют вторую сторону зубьев. Шлифование профиля – наиболее сложная и трудоемкая операция изготовления зуборезного инструмента, причем от точности получаемых на операции зубошлифования размеров зависит точность нарезаемых этим долбяком зубчатых колес.

Принцип зубошлифования обкатыванием заключается в зацеплении заготовки долбяка (шевера) с неподвижной производящей рейкой, которую воспроизводит плоская рабочая поверхность шлифовального круга  $1$  (рис. 7.9). На зубошлифовальном станке заготовку  $4$  устанавливают на оправке  $3$ . На шпинделе бабки изделия устанавливают кулачок  $2$  с эвольвентным профилем и с диаметром основной окружности  $d_k$ .

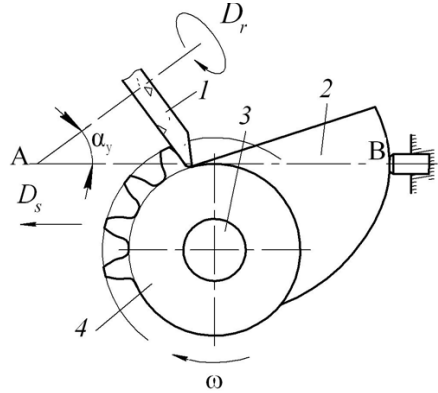


Рис. 7.9. Принципиальная схема шлифования профиля зубьев долбяка

Вращение оправки  $3$  с угловой скоростью  $\omega$  посредством кулачка  $2$  приводит к линейному перемещению заготовки со скоростью  $S = \omega d_k / 2$  (рис. 7.9), соответствующей качению основной окружности кулачка по производящей прямой  $AB$ . Если ось шлифовального круга имеет наклон к прямой  $AB$  (направлению линейного перемещения) под углом  $\alpha_y$ , то рабочая торцовая часть шлифовального круга воспроизводит на предварительно сфрезерованном зубе долбяка эвольвентный профиль с диаметром основной окружности

$$d_{\text{со}} = d_k \cos \alpha_y. \quad (7.2)$$

Принцип зубошлифования обкатыванием остается неизменным, независимо от системы управления станком.

Основными производителями современных зубошлифовальных станков с ЧПУ являются фирмы Hart (Германия), Mitsubishi (Япония), Samputensili (Италия), а также представитель стран СНГ – предприятие «ВИЗАС» (Белоруссия).

Технические характеристики зубошлифовального полуавтомата ВЗ-80Ф4 («ВИЗАС»), оснащенного устройством ЧПУ Sinumerik 840D, приведены в табл. 7.1.



Таблица 7.1

## Технические характеристики станка ВЗ-580Ф4

Наибольший диаметр заготовки, мм	360
Пределы модулей, мм	1...10
Наибольшая длина шлифования (в наборе прямозубых зубчатых колес), мм	400
Наибольший угол наклона зубьев, град	35
Наибольший диаметр шлифовального круга, мм	350
Частота вращения шлифовального шпинделя, мин <sup>-1</sup>	1500...5000
Число управляемых осей координат: – всего – одновременно	6 25
Наибольшие скорости перемещения по линейным осям координат, м/мин: – оси X, Z – оси Y, V	15 6
Дискретность задания перемещений по координатам: – линейным, мм – круговым, град	0,001 0,0001
Точность обработки зубчатого колеса	≤ 5 степени по ГОСТ 1643-81

При шлифовании применяют шлифовальные круги типов 3,4 и 12R4 (табл. 6.3, 6.4). Правку производят высококачественным алмазным правящим инструментом, как правило алмазом в оправе.

Рассмотрим пример шлифования зубчатого профиля долбяка (шевера) на станке фирмы Samputensili мод. S400CS, имеющем 9 управляющих осей (рис. 7.10). Движение обката реализуется путем управляемого синхронизированного возвратно-поступательного движения вокруг оси заготовки (ось A) и линейного перемещения суппорта (ось V). Ось A обеспечивает также и движение деления заготовки на следующий зуб. Кроме того, станок имеет три управляемые оси, из которых ось X обеспечивает линейное перемещение правящего инструмента параллельно рабочей плоскости шлифовального круга при правке; ось Y необходима для подвода шлифовального круга на требуемое расстояние к заготовке во время цикла обработки; ось Z – линейная ось устройства правки круга служит для осевого перемещения правящего инструмента по нормали к рабочей поверхности круга (глубина правки).

Дополнительная ось S – обеспечивает постоянство скорости резания, уменьшающейся по мере износа шлифовального круга, за счет повышения частоты его вращения.

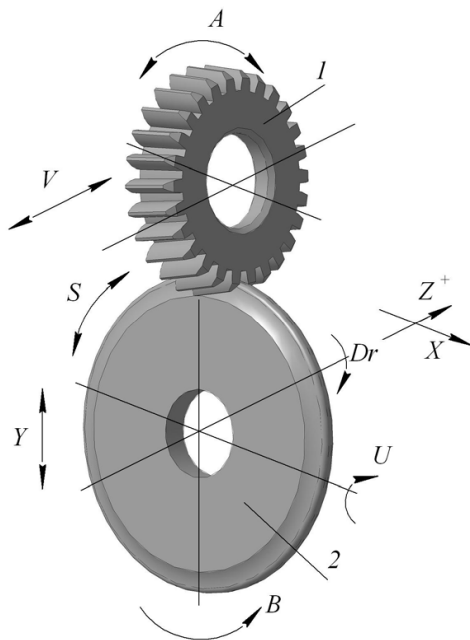


Рис. 7.10. Принципиальная схема обработки на зубошлифовальном станке с ЧПУ: 1 – заготовка; 2 – шлифовальный круг

Круговая ось  $U$  позволяет установить круг в положение, соответствующее углу профиля изделия (аналогично повороту на угол  $\alpha_y$ , рис. 7.9), а ось  $B$  необходима для установки шлифовального круга на угол наклона зуба заготовки.

Дискретность перемещения по линейным осям составляет 0,0001 мм, а по поворотным осям – 0,0001 град.

Более производительным, но менее точным является шлифование профиля зубьев долбяка с помощью шлифовального круга (абразивного червяка), имеющего форму червячного колеса. Здесь производится одновременная обработка обеих сторон зубьев аналогично фрезерованию зубьев червячной фрезой, поэтому движение деления не требуется. Точность профиля поверхности зуба в этом случае зависит от точности профиля винтовой нитки абразивного червяка. Правку круга производят методом накатывания. Для повышения точности профиля круга его правят сначала черновым, затем чистовым накатным роликом.

Шлифование *методом копирования* производится путем воспроизведения профиля шлифовального круга на шлифуемой поверх-

ности заготовки прямолинейным поперечным движением подачи. Шлифование выполняется на плоскошлифовальных, профилешлифовальных, круглошлифовальных, бесцентровошлифовальных, резьбошлифовальных, шлифовально-затыловочных и других станках. Метод копирования применяется при глубинном вышлифовывании стружечных канавок и спинок режущего инструмента, шлифовании профиля зубьев червячных фрез, профильных круглых резцов, различных резьб и т. п.

Метод копирования обладает достаточно высокой производительностью и точностью и широко применяется не только в инструментальном производстве, но и в крупносерийном и массовом производстве деталей машин. Возможности этого метода ограничены длиной шлифуемой заготовки, так как она не может быть больше высоты круга. Точность размеров обработанных поверхностей зависит от точности профиля шлифовального круга, формируемого при правке. Круг должен иметь профиль, зеркальный профилю детали, причем его точность должна быть выше, чем точность шлифуемого профиля, поэтому наиболее ответственная часть операции заключается в формировании требуемого профиля шлифовального круга в процессе его правки.

Правку сложнопрофильных кругов производят:

- методом обтачивания однокристалльным алмазным карандашом, алмазом в оправе, алмазной иглой или обтачивающим алмазным диском с применением копировальных устройств или системы ЧПУ (рис. 6.15; 6.16,*а*);
- методом шлифования алмазным роликом с профилем, копирующим профиль детали (рис. 6.16,*б*);
- методом накатывания стальным профилированным роликом или абразивным кругом большой твердости (рис. 6.17).

Типичными операциями шлифования методом копирования являются *резьбошлифование* и *затылование*, в результате которых формируется рабочий профиль инструмента. Резьбошлифовальные станки, предназначенные для решения этих задач, обладают повышенной жесткостью, точностью, имеют специальные устройства для правки круга и компенсации его износа. Шлифование резьб с крупным шагом производят после предварительного нарезания резьбы лезвийным инструментом (см. главу 4) с последующей термообработкой заготовки. Резьбы с шагом до 2 мм шлифуют «по целому» на термообработанной заготовке, исключая предварительную лезвийную обработку.

Применяют две схемы резьбошлифования – одноконтурными и многоконтурными кругами. Шлифование одноконтурным кругом применяют в случае, когда к точности резьбы предъявляют высокие требования, что характерно для изготовления режущего инструмента. Правку одноконтурного резьбового круга осуществляют двумя алмазными правящими карандашами типа 4 или алмазами в оправе (рис. 6.14,б). При одноконтурном шлифовании (рис. 7.11,а) круг устанавливают относительно оси вращения заготовки под углом  $\psi$ , равным углу наклона резьбы. Заготовке придают вращение и продольную подачу, равную шагу резьбы. Различают многопроходное и глубинное шлифование резьбы. При многопроходном шлифовании обработку ведут с относительно большой окружной скоростью заготовки (3...8 м/мин), относительно малой глубиной шлифования  $t$  (0,02...0,05 мм/дв. ход) и большим числом рабочих ходов. При глубинном шлифовании снятие припуска проводят за 1–2 рабочих хода при меньшей частоте вращения заготовки. По глубинной схеме преимущественно шлифуют резьбы с шагом до 2 мм, по многопроходной – с шагом свыше 2 мм.

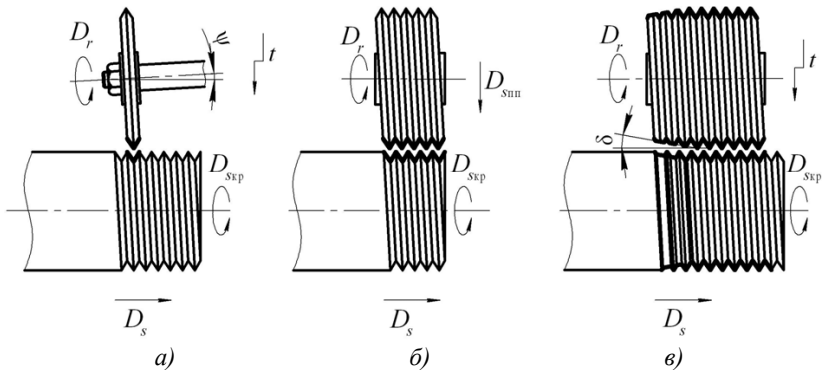


Рис. 7.11. Схемы шлифования резьбы: а) одноконтурным кругом;  
 б) многоконтурным кругом с продольной подачей;  
 в) многоконтурным кругом методом врезания

При необходимости обеспечения высокой производительности обработки, но с некоторым снижением точности параметров резьбы применяют резьбошлифование многоконтурным цилиндрическим кругом (рис. 7.11,б). По такой схеме шлифуют короткие резьбы, так как высота круга должна быть несколько больше длины резьбы заготовки. Шлифование осуществляют за счет движения поперечной подачи  $D_{спп}$  вплоть до полного врезания круга на всю высоту профиля резьбы. Заготовка со-

вершает вращательное и поступательное движения, как и при обработке однопиточным кругом. Для формирования резьбы заготовке достаточно совершить один оборот и переместиться на длину одного ее шага. (Аналогичная схема образования резьбы фрезой приведена на рис. 4.13.)

Второй вариант многопиточного шлифования (рис. 7.11,в) предусматривает применение круга конической формы (заборный конус с углом  $\delta$ ). Шлифуют резьбу таким кругом с продольной подачей заготовки. При этом снимаемый припуск равномерно распределяется между резьбовым профилем заборного конуса круга. Резьба формируется за один рабочий ход круга, а ее длина не ограничена высотой круга.

Метчики, резьбовые фрезы и некоторые другие резьбообразующие инструменты имеют затылованный резьбовой профиль. Для его затылования резьбошлифовальные станки оборудованы устройством, позволяющим получать величину падения затылка у метчиков в пределах 0,01...0,06 мм за счет движения затылования бабки станка или движения стола с заготовкой. Необходимая величина затылования устанавливается с помощью сменных кулачков. Требуемая точность профиля резьбы обеспечивается правкой шлифовального круга.

Правку многопиточных кругов производят алмазным (рис. 6.16,б) правящим или стальным накатным (рис. 6.18) роликом. Для формирования рабочей поверхности круга в обоих случаях ролики имеют резьбовой профиль. Применяют правку и методом обтачивания алмазной иглой или алмазным резцом.

*Затылование* является одной из финишных операций при изготовлении червячных фрез различного назначения, затылованных дисковых фрез, метчиков и других инструментов. После затылования обычно производят заключительную технологическую операцию заточки по передней поверхности.

На рис. 7.12 приведен пример затылования заборного конуса метчика на шлифовально-затыловочном станке. Требуемая закономерность рабочих движений, обеспечивающих задаваемый профиль затылования, получается за счет применения затыловочного кулачка и рычажно-передающего механизма. Величина затылования  $K_{\text{ц}}$  задней поверхности по архимедовой спирали на режущих элементах обрабатываемого инструмента обеспечивается качанием люльки  $I$  станка относительно оси, проходящей через точку  $O_1$ . Люлька получает движение от затыловочного кулачка  $З$ , вращающегося со скоростью  $V_{\text{кул}}$ , через рычаг  $4$  и ползун  $5$ , который контактирует с поверхностью опорной планки люльки. В центрах люльки устанавливается заготовка

инструмента 2, например метчика, имеющая ось вращения в точке  $O_2$  и совершающая относительно рабочей поверхности шлифовального круга движения, аналогичные движению люльки. Винт 6 обеспечивает регулировку положения ползуна 5 и, соответственно, величины  $K_{\Pi}$ .

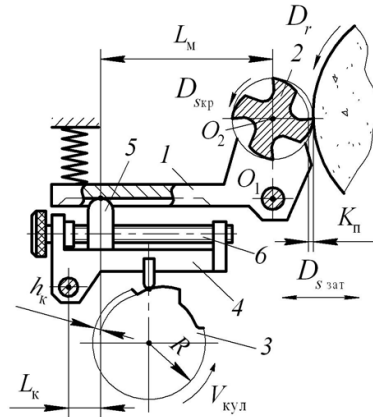


Рис. 7.12. Схема затылования метчиков на шлифовально-затыловочном станке

Величина падения затылка определяется из соотношения

$$K_{\Pi} = k \cdot h_{\kappa} \frac{L_{\kappa}}{L_{\text{м}}}, \quad (7.3)$$

где  $k$  – постоянная величина для затыловочного механизма станка;  $L_{\kappa}$  и  $L_{\text{м}}$  – плечи, зависящие от положения ползуна;  $h_{\kappa}$  – постоянная величина для данного кулачка (подъем профиля).

Резьбошлифовальные станки имеют различный уровень автоматизации. В инструментальном производстве распространены отечественные станки модельного ряда 588 различных модификаций, а также ряда зарубежных фирм, позволяющие шлифовать широкий спектр метрических, дюймовых и иных резьб, а также затыловать резьбовую поверхность.

Современные резьбошлифовальные станки оснащают системами ЧПУ. Здесь процесс затылования резьбы может проходить без кулачка, при помощи управляемой электрогидравлической системы. Характерным образцом такого оборудования служат резьбошлифовальные станки германской фирмы Reishauer.

Например, на резьбошлифовальном станке RG500 (рис. 7.13), имеющем 8 управляемых осей и оснащенном мультипроцессором

ЧПУ, могут быть отшлифованы сборные и цельные червячные фрезы, метчики, резьбовые фрезы, винтовые протяжки, резьбовые накатные ролики, резьбовые цилиндрические или конусные калибры-пробки при скорости шлифования 45 м/с.

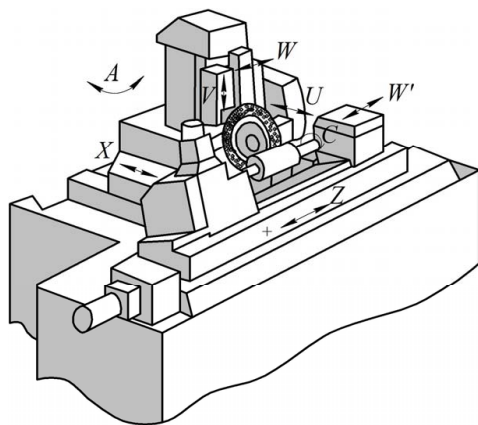


Рис. 7.13. Направления движений рабочих органов резьбошлифовального станка RG500

Система ЧПУ согласовывает продольное перемещение стола по оси  $Z$  с вращательным движением заготовки  $C$ , обеспечивая шлифование с заданным шагом, а также окружное деление при выполнении многозаходной резьбы. По оси  $X$  производится поперечная подача и обеспечивается шлифование конусных поверхностей. Ось  $A$  обеспечивает возможность поворота шлифовального суппорта на угол подъема резьбы. Правку шлифовальных кругов осуществляют с помощью правящего устройства, работающего от системы ЧПУ, алмазными обтачивающими роликами. Реализация программы правки круга производится путем ввода через ЭВМ параметров шлифуемых поверхностей и обеспечения горизонтального по оси  $W$  и вертикального по оси  $V$  перемещения алмазных роликов (рис. 6.17,а).

Ось  $U$  обеспечивает движение каретки для затыловочного шлифования с помощью электрогидравлической следящей системы. Таким образом, форма отшлифованного затылка и величина затылования образуются без помощи традиционных кулачков.

Одной из наиболее ответственных и сложных технологических операций при изготовлении червячных фрез считается шлифование профиля зубьев с образованием затылованной задней поверхности.

Шлифование после предварительной токарно-затыловочной операции должно обеспечивать заданную рабочим чертежом точность профиля режущих зубьев и положение режущих кромок относительно исходной инструментальной поверхности. Согласно требованиям рабочего чертежа это положение должно сохраняться неизменным при последующих заточках фрез по передней поверхности.

Затылование производят на специальных шлифовально-затыловочных станках (рис. 7.14). Заготовку фрезы 2 закрепляют с базированием по отверстию и торцу на центровой оправке 1, которую устанавливают в центрах станка. Для минимизации погрешности базирования заготовки червячных фрез класса точности АА и А зазор между диаметром отверстия и диаметром оправки выполняют по переходной посадке, равный, например, всего лишь 0...0,003 мм. При выполнении операции выбирают форму шлифовального круга 3 и его предельно допустимый наружный диаметр. Чем больше наружный диаметр круга, тем производительнее процесс шлифования. Однако наружный диаметр ограничен условием, что при затыловании отдельного зуба фрезы круг не должен задевать следующий ее зуб.

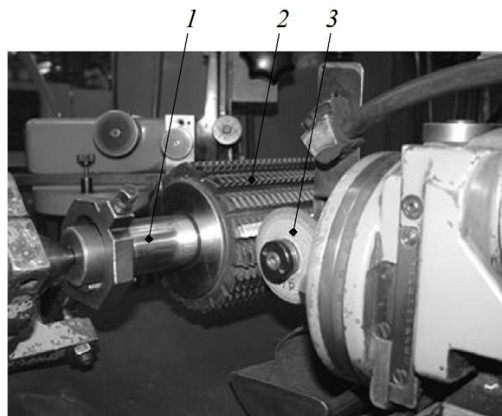


Рис. 7.14. Затылование зубьев червячной фрезы: 1 – оправка; 2 – заготовка фрезы; 3 – шлифовальный круг

Форма профиля и размер шлифовального круга влияют на точность затылованной поверхности зубьев. Дело в том, что червячные фрезы имеют профиль архимедовой винтовой поверхности. Такая поверхность не развертывается на плоскость. Как и любая винтовая поверхность (см. главу 4), она не может обрабатываться шлифовальным



кругом с плоской рабочей поверхностью из-за возможного искажения профиля зубьев, поэтому затылование боковых сторон профиля производят конической поверхностью шлифовального круга. Шлифование профиля зубьев начинают с обработки наружного диаметра шлифовальным кругом прямого профиля. После этого шлифуют последовательно левую и правую стороны профиля зубьев кругом типа 3Т и наконец обрабатывают радиусы на их вершине (рис. 7.15).

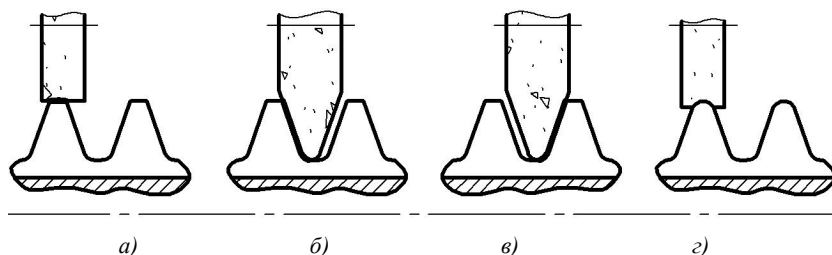


Рис. 7.15. Шлифование профиля зубьев червячных фрез: а) шлифование вершин; б, в) шлифование боковых сторон; з) шлифование радиусов

Из-за возвратно-поступательного движения затылования круга производительность обработки существенно ниже, чем при круглом шлифовании и ограничена частотой вращения заготовки и количеством затылуемых зубьев. Так, глубина шлифования за один оборот заготовки червячной фрезы составляет  $0,01...0,02$  мм при предварительном затыловании и примерно  $0,005$  мм — при чистовом.

Операционный контроль шлифованных поверхностей производят согласно требованиям чертежа по следующим параметрам:

- погрешность профиля зуба и винтовой линии от зуба к зубу;
- величина падения затылка;
- шероховатость поверхности.

Основным недостатком цельных червячных фрез являются относительно малые задние углы на боковых поверхностях зубьев, получаемые при затыловании. Возможности увеличения задних углов ограничены допустимой величиной наружного диаметра шлифовального круга.

Этого недостатка лишены сборные червячные фрезы, содержащие рабочий корпус с установленными в нем зубчатыми рейками. Наибольшее распространение имеют сборные червячные фрезы с прямоугольными пазы в корпусе (рис. 7.16). При изготовлении сборной фрезы зубчатые рейки на операциях нарезания и шлифова-

ния зубьев устанавливают прямоугольными ножками в пазы технологического корпуса с горизонтальным смещением относительно радиальной плоскости на величину

$$E = r_a \sin \alpha_a, \quad (7.4)$$

где  $r_a$  — радиус фрезы по вершинам зубьев.

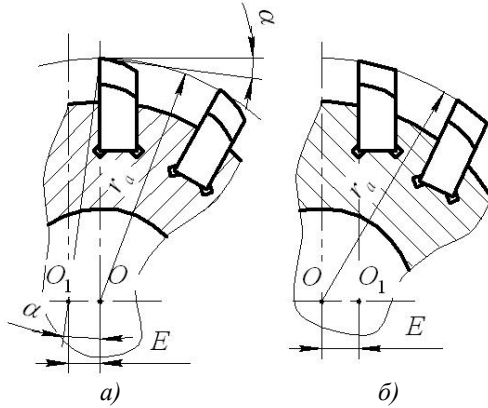


Рис. 7.16. Установка зубчатых реек в рабочем (а) и технологическом (б) корпусах

Задняя поверхность зубьев в этом случае обрабатывается не по архимедовой спирали, на шлифовально-затыловочном, как у цельных фрез, а по окружности с радиусом  $r_a$  на резьбошлифовальном станке. Шлифование задних поверхностей по окружности значительно технологичнее и производительнее, чем при затыловании по архимедовой спирали. После шлифования задних поверхностей в технологическом корпусе рейки устанавливают в пазы рабочего корпуса, но уже без смещения ( $E = 0$ ), что обеспечивает получение на зубьях необходимых задних углов.

При изготовлении сборных червячных фрез с пазами треугольной формы обработку зубчатых реек проводят в одном корпусе, выполняющем функции и технологического и рабочего. Профиль пазов рабочего корпуса и ножки зубчатой рейки у этих фрез имеют треугольную несимметрическую форму относительно радиальной плоскости (рис. 7.17). Сначала рейки устанавливают в пазы рабочего корпуса в технологическом положении (рис. 7.17,а) и шлифуют как обычный червяк на резьбошлифовальном станке. Затем их поворачивают на

180° и вновь устанавливают в эти же пазы корпуса, но уже в рабочем положении (рис. 7.17, б). При сборке в рабочем положении на профиле зубьев образуются необходимые задние углы.

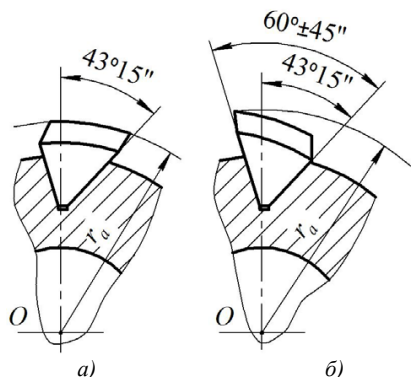


Рис. 7.17. Установка зубчатых реек в корпусе сборной фрезы в технологическом (а) и рабочем (а) положениях

При изготовлении сборных фрез отпадает необходимость в применении малопроизводительных затыловочных станков и сложной наладки инструментов, а также ограничения по выбору наибольшего диаметра шлифовального круга во избежание подрезки зубьев. Обеспечивается возможность получения увеличенных задних углов на вершинах и, соответственно, на боковых кромках зубьев червячной фрезы. Это позволяет использовать сборные фрезы на повышенных режимах резания и увеличить число их переточек.

Недостатком сборных червячных фрез, как, впрочем, и любого сборного инструмента, является определенная потеря точности зубофрезерования из-за погрешностей, возникающих при смене технологических баз зубчатых реек и пазов корпуса. Именно поэтому высокоточные червячные фрезы классов ААА и АА изготавливают цельными. Для уменьшения погрешностей, связанных со сменой технологических баз, заточку фрез производят после их окончательной сборки в рабочем корпусе.

Несмотря на неизбежную погрешность базирования, технологические корпуса достаточно широко и эффективно применяются при заточке и шлифовании режущих элементов сборного инструмента.

Рассмотрим в качестве типичного примера их применения технологическую операцию шлифования профиля комплекта ножей из стали Р6М5ФЗ для сборной протяжки, предназначенной для обработки зубчатого профиля рейки рулевого управления автомобиля.

На рис. 7.18 приведена технологическая наладка операции профильного шлифования на плоскошлифовальном станке шлифовальным кругом 1-500×210×305 24A120H8V22 с подачей жидких СОТС на масляной основе. Шлифование комплекта ножей из 14 единиц производится в специальном технологическом корпусе. Правка круга накатыванием, в связи с необходимостью получения относительно точного профиля ножей, производится двумя накатными роликами – черновым и чистовым, изготовленными в инструментальном цехе.

Операция шлифования предусматривает 4 перехода:

- 1) установить в приспособление комплект ножей под углом  $\beta = 5^{\circ}17'47''$ ;
- 2) установить накатное устройство для правки круга и выставить два накатных ролика;
- 3) накатать профиль круга черновым накатным роликом;
- 4) шлифовать профиль ножей. Править круг один раз через 100 двойных ходов, затем через 40 двойных ходов черновым роликом. При достижении припуска 0,2 мм править круг чистовым роликом через каждые 10 двойных ходов.

После шлифования комплект ножей в строгой последовательности устанавливаются под углом  $\beta = 0^{\circ}$  в рабочий корпус, где создают режущий и калибрующий участки протяжки, а зубья получают одинаковый задний угол  $\alpha = 5^{\circ}17'47''$ .

А теперь рассмотрим альтернативный вариант обработки профиля этих же ножей (рис. 7.19). Современные технологии физико-технической обработки позволяют в определенных условиях успешно заменить технологию профильного шлифования. Так, обработку профиля ножей протяжки можно осуществить на вырезном электроэрозионном станке с ЧПУ. Выполнение операции ЭЭО в этом случае производится в следующей последовательности:

- 1) установить нож (один) в приспособлении под углом  $5^{\circ}17'47''$ ;
  - 2) выставить приспособление по боковым поверхностям ножа;
  - 3) обработать профиль за 6 рабочих ходов:
- черновой проход (подача 3,5 мм/мин, получаемая шероховатость Ra 2,5 мкм);
  - получистовой проход (подача 10 мм/мин, Ra 1,6 мкм);
  - чистовой проход 1 (подача 10 мм/мин, Ra 1,25 мкм);
  - чистовой проход 2 (подача 10 мм/мин, Ra 0,80 мкм);
  - чистовой проход 3 (подача 10 мм/мин, Ra 0,40 мкм);
  - чистовой проход 4 (подача 6 мм/мин, Ra 0,32 мкм).

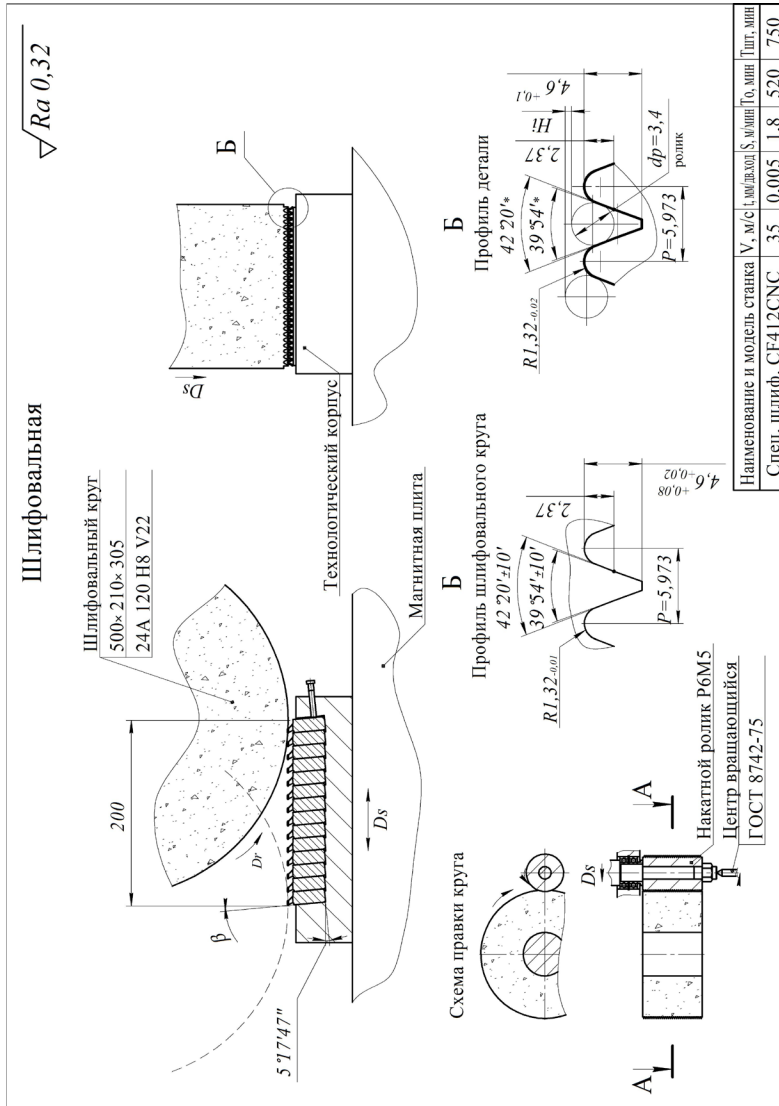
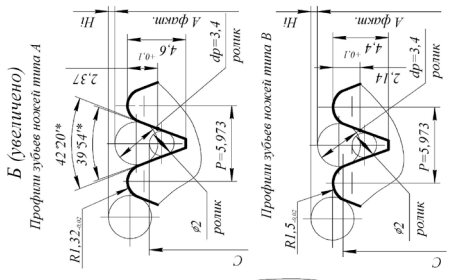
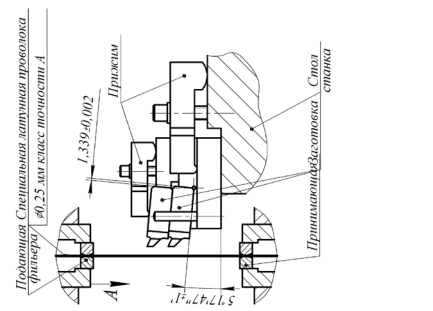


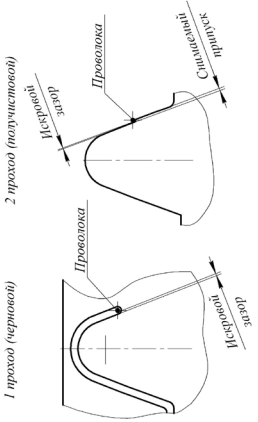
Рис. 7.18. Шлифование профиля плоской протяжки в технологическом корпусе

# Электроэрозионная

$\sqrt{Ra0,32}$  ( $\nabla$ )



## Схема обработки



№ ножей в комплекте	$A_{факт.}$	$B$	$C$
1	40,96	40	38,236
2	40,96	40	38,236
3	40,96	39,8	38,236
4	40,14	40	-
5	40,92	39,76	38,196
6	40,10	39,96	-
7	40,88	39,72	38,156
8	40,06	39,92	-
9	40,84	39,68	38,116
10	40,02	39,88	-
11	40,80	39,64	38,076
12	39,98	39,84	-
13	40,76	39,60	38,036
14	39,94	39,80	-

Наименование и класс точности	S, мм	Прогоды	Ра.		U, В	I, А	T, мин
			И	В			
Электроэрозионный станок И-650	1	5	2,5	0,04	80	57	
	2	10	1,25	0,03	40	28	
	3	10	0,8	0,003	40	28	161
	4	10	0,5	0,003	40	28	
	5	16	0,32	0,002	20	18	

Рис. 7.19. Технологическая наладка операции электроэрозионной обработки профиля плоской протяжки

В целом штучное время обработки комплекта ножей практически одинаково при обоих вариантах. Основное преимущество второго варианта обработки заключается в применении обычного электроэрозионного станка-автомата с ЧПУ взамен плоскошлифовального станка с комплектом сложной технологической оснастки. Отпадает необходимость изготовления высокоточных накатных правящих роликов, имеющих ограниченную стойкость. Исключается вероятность появления прижогов в поверхностном слое инструмента.

## **7.2. Операции заточки и доводки**

### **7.2.1. Оборудование для операций заточки и доводки**

Заточка является разновидностью операций шлифования, в процессе которой шлифуют режущую часть инструмента, обеспечивая заданные геометрические параметры передней и задних поверхностей, стружкоразделительных канавок и др. Отличительная особенность операции заточки состоит в том, что она выполняется не только при изготовлении нового, а и при восстановлении изношенного инструмента.

Операция доводки служит для повышения качества поверхностей инструмента, полученного после заточки. Для того чтобы исключить вероятность структурных изменений в поверхностном слое заготовки, скорость резания при доводке назначается значительно меньшей, чем при заточке. Чаще всего операция доводки осуществляется путем суперфиниширования или заточки с относительно низкой скоростью резания.

Основные требования, предъявляемые к операциям заточки и доводки режущего инструмента, заключаются в следующем:

- обеспечение заданных рабочим чертежом геометрических параметров режущей части инструмента;
- получение заданной рабочим чертежом шероховатости заточенных или доведенных поверхностей инструмента;
- сохранение физико-механических свойств поверхностного слоя инструментального материала, полученных после термообработки.

Наиболее широко в единичном и мелкосерийном производстве применяются универсальные заточные станки производства ОАО «ВИ-ЗАС» (г. Витебск, Белоруссия), в частности, 3М642, 3М642Е, 3Д642Е, ВЗ-319, ВЗ-318, ВЗ-318Е и др. Они предназначены для заточки и доводки широкой номенклатуры инструмента, в том числе резцов, сверл, зенкеров, разверток и фрез. Станки имеют подвижный стол, перемещающийся в горизонтальной плоскости и обеспечивающий продоль-

ную и поперечную подачи. На столе могут устанавливаться задняя и передняя бабки для базирования и закрепления заготовок в центрах, а также специальные приспособления. Шлифовальная головка станка может перемещаться вверх-вниз, обеспечивая вертикальную подачу. Для заточки винтовых стружечных канавок возможен разворот головки в горизонтальной плоскости. На универсально-заточных станках подача осуществляется вручную или механически от гидропривода

Типичным образцом универсально-заточного станка является станок модели ВЗ-318-Е, техническая характеристика которого приведена в табл. 7.2. Станок предназначен для заточки и доводки основных видов режущего инструмента, а также плоского круглого и внутреннего шлифования.

Таблица 7.2

Техническая характеристика станка модели ВЗ-318-Е\*

Основные показатели	Единица измерения	Значение параметра
Наибольший диаметр изделия, устанавливаемого в центровых бабках	мм	200
Наибольшая длина изделия, устанавливаемого в центровых бабках	мм	500
Наибольшее продольное перемещение стола	мм	350
Угол поворота шлифовальной головки: в горизонтальной плоскости в вертикальной плоскости	град	360 200
Скорость продольного перемещения стола (регулируется бесступенчато)	м/мин	0,2...8
Мощность привода шлифовального круга	кВт	0,71/0,85
Габаритные размеры станка: длина ширина высота	мм	1460 1530 1660
Масса станка	кг	800

\* Индекс *Е* указывает на перемещение стола с помощью гидропривода. Маркировка модели станка без индекса указывает на ручное перемещение стола.

Основное достоинство универсально-заточных станков заключается в возможности использования широкой гаммы специальных приспособлений, позволяющих производить заточку практически любых режущих инструментов, от относительно простых токарных резцов, сверл, зенкеров, разверток, дисковых и концевых фрез до



сложнопрофильного инструмента – протяжек, червячных фрез, зубо-резных головок и т. п. (табл. 7.3).

Таблица 7.3

Перечень приспособлений к универсально-заточным станкам

Наименование приспособления	Служебное назначение
Большая универсальная головка 3Е642Е. П1	Заточка многолезвийного инструмента с прямолинейными режущими кромками. Обеспечивается вращение заготовки инструмента вокруг оси и поворот в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Делительный механизм обеспечивает деление на 3, 4, 5, 6, 8, 12, 16, 24 части
Бабка 3Е642. П2 передняя. Бабка 3Е642. П3 задняя правая. Бабка 3Е642. П6 задняя левая	Заточка инструмента диаметром до 250 мм с базированием в центрах
Универсальная упорка. П4	Угловая ориентация зуба при заточке многолезвийного инструмента
Бабка универсальная трехповоротная. П8	Заточка осевого и насадного многолезвийного инструмента. Необходимые углы заточки настраиваются его поворотом в горизонтальной и вертикальной плоскостях
Приспособление для цилиндрической заточки спиральных сверл В3-318. П10	Цилиндрическая заточка спиральных сверл диаметром от 3 до 20 мм с цилиндрическим и коническим хвостовиком
Приспособление для заточки сверл по конусу 3Е642. П10	Коническая заточка спиральных сверл диаметром от 6 до 32 мм
Приспособление для плоскостной заточки сверл 3Е642. П14	Двухплоскостная заточка сверл диаметром от 6 до 32 мм
Приспособление для подточки поперечной кромки сверл 3Е642. П 56	Подточка поперечной кромки сверл диаметром от 12 до 40 мм
Тиски трехповоротные В3-318. П16	Плоское шлифование, заточка резцов и плоских протяжек
Приспособление для наружного круглого шлифования В3-318. П17	Сообщение вращения заготовке при круглом и внутреннем шлифовании. При шлифовании заготовок, имеющих центровые отверстия, используется задняя бабка В3-318. П3. Для закрепления коротких изделий используется трехкулачковый патрон 3Е642. П84
Приспособление для заточки зенкеров и ступенчатых сверл 3Е642Е. П19	Заточка зенкеров по задней поверхности и ступенчатых сверл по задней поверхности на второй ступени диаметром от 3 до 50 мм

Наименование приспособления	Служебное назначение
Приспособление для заточки торцовых фрез 3Е642Е. П21	Заточка торцовых фрез диаметром от 80 до 400 мм по задним поверхностям
Приспособление для заточки косозубых долбяков 3Е642Е. П23	Заточка косозубых долбяков диаметром до 100 мм по передней поверхности
Приспособление универсальное для правки круга 3Е642Е. П25	Правка шлифовального круга по радиусу и прямой
Приспособление для заточки инструмента по спирали В3-318. П26	Заточка червячных фрез, осевого инструмента с винтовыми зубьями, по передним и задним поверхностям. Деление на зуб осуществляется по делительному диску
Приспособление для заточки резцов В3-318. П27 (трехповоротные тиски)	Заточка резцов по задним и передним поверхностям. Позволяет поворачивать резец вокруг осей X, Y, Z без дополнительных расчетов
Стол поворотный 3Е642Е. П30 + Плита магнитная	Выполнение плоскошлифовальных работ, в том числе профильного шлифования
Приспособление для заточки фасонных незатылованных фрез 3Е642Е. П36	Заточка фасонных фрез с выпуклым профилем по задней поверхности по копиру радиусной периферией круга
Патрон цанговый В3-318. П40	Зажим в универсальной бабке В3-318. П1 осевого инструмента с цилиндрическим хвостовиком
Приспособление для заточки фрез по радиусу 3Е642Е. П50	Заточка по радиусу торцовых, двух- и трехсторонних фрез с 1,5...50 мм радиусными режущими кромками по задним поверхностям
Приспособление для затылования метчиков 3Е642Е. П51	Затылование метчиков по режущей части и заборному конусу

Кроме универсального оборудования, в инструментальном производстве применяют более производительные специальные заточные станки, предназначенные для выполнения конкретных операций заточки инструмента одного вида, но разных размеров, например станки для заточки сверл, червячных фрез, протяжек или дисковых пил. К таким станкам, например, следует отнести станки-автоматы для вышлифовывания стружечных канавок. Специальные заточные станки, как правило, работают в автоматическом режиме. В условиях серийного выпуска инструмента их применение экономически выгодно, если коэффициент загрузки оборудования достаточно высок (более 0,5).

Развитие конструкций универсальных станков и оснащение их системами ЧПУ привело к созданию многоцелевых шлифовально-

заточных станков (центров), способных обеспечить максимальную концентрацию технологических переходов в единой операции. По сравнению со специальными станками-автоматами, например специальными станками для вышлифовывания стружечных канавок, они обладают возможностью гибкого перенастраивания для обработки широкой номенклатуры режущих инструментов в условиях мелкосерийного производства [18].

Шлифовально-заточные центры с ЧПУ, по сравнению с другими металлообрабатывающими станками, оснащены специальными системами и узлами, в том числе:

- шариковинтовыми парами, обеспечивающими точное безлюфтовое линейное перемещение вдоль координатных осей;
- высокоточными безлюфтовыми червячными передачами для обеспечения реверсивных вращательных движений относительно координатных осей;
- высокоскоростными шлифовальными шпинделями;
- измерительными датчиками для контроля перемещений инструмента и заготовки, а также измерительными головками для коррекции получаемых размеров и контроля параметров обработанных поверхностей;
- возможностью управления процессом обработки с помощью ЭВМ на основе 3D-моделирования изготавливаемого инструмента.

В принципе многокоординатный шлифовально-заточный центр может выполнить весь комплекс операций изготовления инструмента осевого класса, эффективно заменив универсальные заточные станки с многочисленными приспособлениями (табл. 7.3). Благодаря гибкому программному обеспечению, возможности быстрой смены шлифовальных кругов, применению цанг для закрепления заготовок, наличию измерительного щупа для настройки, станок оперативно перестраивается на изготовление любого инструмента, параметры которого имеются в базе данных.

В табл. 7.4 приведены основные характеристики шлифовально-заточных центров фирм ANCA, Walter (Германия), «ВИЗАС» (Белоруссия) с различным числом управляемых координат по осям. В России подобное оборудование в настоящее время не производится.

На рис. 7.20 показана принципиальная конструкция шлифовально-заточного центра Walter CNC55 HELI CENTER GC8, а на рис. 7.21 – направление управляемых движений узлов этого станка по координатным осям.

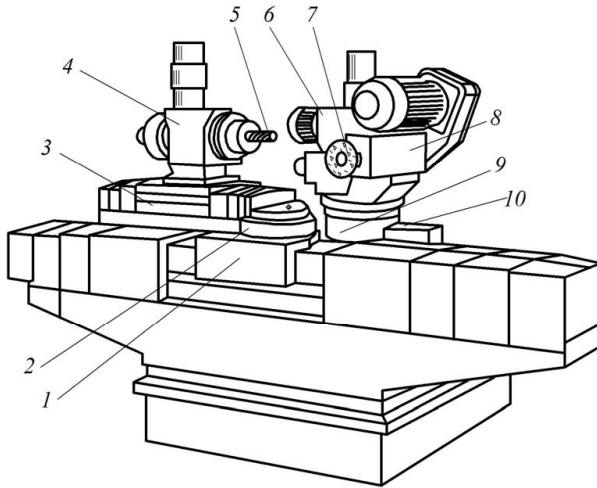


Рис. 7.20. Конструкция шлифовально-заточного центра: 1 – продольные салазки; 2 – поворотная планшайба; 3 – ходовые салазки; 4 – бабка изделия; 5 – заготовка; 6 – неподвижная шлифовальная бабка; 7 – шлифовальный круг; 8 – поворотная шлифовальная бабка; 9 – поперечный суппорт; 10 – вертикальные салазки

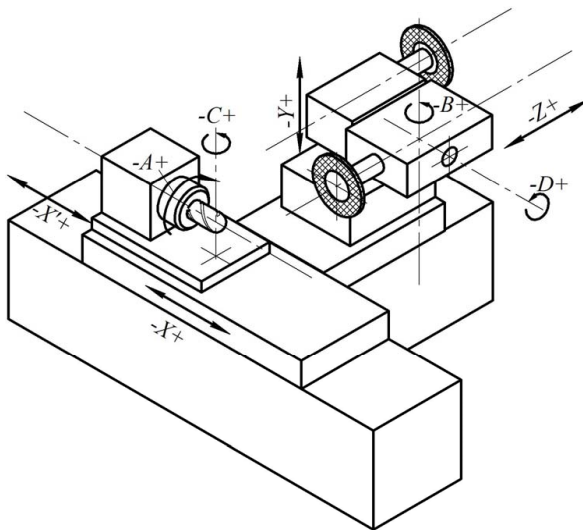


Рис. 7.21. Управляемые оси шлифовально-заточного центра

Таблица 7.4

## Основные характеристики шлифовально-заточных центров

Параметр станка	Станок, модель			
	ВИЗАС, ВЗ-531Ф4	ANCA, Т X 7	Walter, Helitronic Basic	Walter, Helicenter GC8
Обрабатываемый инструмент	Сверла, фрезы, зенкеры, развертки, метчики и пр.			
Обрабатываемый материал	Быстрорежущая сталь, твердый сплав			
Количество осей управления	5	5	5	6
Система ЧПУ	Sinumerik 840D <sub>s</sub> 1	ANCA 5Dx	Fanuc 310i	
Наибольший диаметр круга, мм	150	200	350	200
Скорость шлифования, м/с	до 47	до 125	60	до 125
Мощность привода, кВт	3,0	19,0	7,0	7,5/11
Возможное число кругов на оправке	до 3	до 8		до 5
Наибольшее перемещение по осям, мм	$X = 630$ $Y = 320$ $Z = 320$ $A = 360^\circ$ $B = 360^\circ$	$X = 435$ $Y = 457$ $Z = 275$ $A = 360^\circ$ $C = 310^\circ$	$X = 460$ $Y = 320$ $Z = 660$ $A = 360^\circ$ $C = \pm 200^\circ$	$X = 800$ $Y = 300$ $Z = 300$ $X' = 200$ $A = 200^\circ$ $B = 270^\circ$ $C = \pm 200^\circ$ $D = 25^\circ$
Масса станка, кг	7500	4500	4500	5500
Разрешающая способность программирования, мм	$X = 0,001$ $Y = 0,001$ $Z = 0,001$	$X = 0,001$ $Y = 0,001$ $Z = 0,001$	0,0001	

Ось  $A$  – поворот шпинделя изделия; ось  $B$  – поворот шлифовальной бабки вокруг вертикальной оси; ось  $C$  – поворот бабки изделия вокруг вертикальной оси; ось  $D$  – поворот шлифовальной бабки вокруг горизонтальной оси (установочное движение); ось  $X$  – продольное перемещение стола; ось  $Y$  – вертикальное перемещение шлифовальной головки; ось  $Z$  – поперечное перемещение шлифовальной головки; ось  $X'$  – продольное перемещение бабки изделия.

В зависимости от числа одновременно управляемых осей станок может выполнять широкий спектр операций заточки различной сложности.

Двух управляемых координат ( $X, A$ ) достаточно для заточки передних и задних поверхностей прямых и винтовых зубьев многолезвийного инструмента цилиндрической формы.

Три управляемые координаты ( $X, Z, A$ ) дают возможность затачивать также зубья, расположенные на торцовой части инструмента.

Четыре управляемые координаты ( $X, Y, Z, A$ ) обеспечивают заточку инструмента с конической рабочей поверхностью.

Работа с пятью управляемыми координатами ( $X, Y, Z, A, C$  или  $B$ ) дает возможность изменять положение оси затачиваемого инструмента в процессе заточки. Это позволяет затачивать передние поверхности инструмента с аксиально-переменным шагом, а также задние поверхности фасонного инструмента торцом круга.

На станке с управляемыми координатами  $X, Y, Z, A, B, C$ , а возможно, и  $D$  можно обрабатывать любой сложный многолезвийный инструмент по всем поверхностям с одной установки, что значительно повышает точность размеров инструмента и производительность обработки.

### 7.2.2. Заточка и доводка резцов

Первоначальная заточка изготавливаемых резцов и их последующая периодическая заточка в процессе их эксплуатации производится у цельных или составных инструментов из быстрорежущей стали, твердого сплава и СТМ. Резцы с механическим креплением твердосплавных пластин заточке не подвергаются.

Для повышения производительности операции заточки рекомендуется применять крупнозернистые шлифовальные круги. Однако для снижения шероховатости шлифованной поверхности и повышения точности размеров целесообразно использовать круги мелкой зернистости. Эти взаимоисключающие задачи решают путем разделения заточки на две последовательные операции – предварительную и окончательную.

Предварительная заточка предусматривает удаление основного припуска шлифовальными кругами из карбида кремния (резцы из твердого сплава) или электрокорунда и монокорунда (резцы из быстрорежущей стали). Последующую окончательную заточку и доводку рабочих поверхностей проводят с применением алмазных (твердого сплава), эльборовых или мелкозернистых электрокорундовых (быстрорежущей стали) кругов. Поскольку круги из СТМ обеспечивают лучшие параметры качества заточки, то при съеме относительно небольшого припуска заточку производят с использованием только алмазных (для твердого сплава) или эльборовых (для быстрорежущей стали) шлифовальных кругов.

Особенность заточки твердосплавных резцов связана с высокой твердостью и хрупкостью режущих элементов, их склонностью к вы-

крашиванию при ударной нагрузке и к образованию трещин при резком изменении температуры. В связи с этим заточка твердосплавного инструмента производится без подачи жидких СОТС. Вращение круга должно быть направлено от режущей кромки в тело резца (рис. 7.22). В этом случае сила резания будет направлена внутрь твердосплавной пластины и вызовет ее сжатие. Это необходимо потому, что твердый сплав может выдерживать значительные сжимающие напряжения, но плохо переносит растягивающие и изгибные напряжения.



Рис. 7.22. Заточка токарного резца по главной задней поверхности на универсально-заточном станке в трехповоротных тисках

Следует отметить, что в технологической документации особо отмечается «обработка абразивным инструментом сухим способом». Это связано не только с технологическими возможностями заточки, но и с вредным влиянием на организм заточника сухой абразивной пыли.

Заточку производят на универсально-заточных станках для заточки резцов. Перед заточкой резец устанавливают в трехповоротные тиски, например ВЗ-318.П26 (табл. 7.3), используя технологические базы – поверхности державки резца (рис. 7.23). Затачиваемые углы резца, таким образом, будут определяться относительно этих технологических баз. На специальных станках для заточки резцов их установка обеспечивается поворотом стола.

При заточке и доводке резцов достаточно характерным является следующий технологический маршрут:

- заточка передней поверхности твердосплавной пластины алмазным кругом под углом  $\gamma$  (рис. 7.23,а);

- заточка главной задней поверхности по стальной державке с увеличенным главным задним углом  $\alpha + \Delta\alpha$  и углом в плане  $\varphi$  (рис. 7.23,б) электрокорундовым кругом;
- заточка электрокорундовым кругом вспомогательной задней поверхности по стальной державке с увеличенным вспомогательным задним углом  $\alpha_1 + \Delta\alpha$  и вспомогательным углом  $\varphi_1$  (рис. 7.23,в);
- заточка алмазным кругом фаски по передней поверхности с углом  $\gamma \approx 0^\circ$ ;
- заточка алмазным кругом главной задней поверхности по твердосплавной пластине под углом  $\alpha$  и углом в плане  $\varphi$ ;
- заточка алмазным кругом вспомогательной задней поверхности по твердосплавной пластине под углом  $\alpha_1$  и углом в плане  $\varphi_1$ ;
- заточка алмазным кругом задней поверхности по радиусу  $r$  вершины;
- заточка алмазным кругом лунок и стружколомающих канавок.

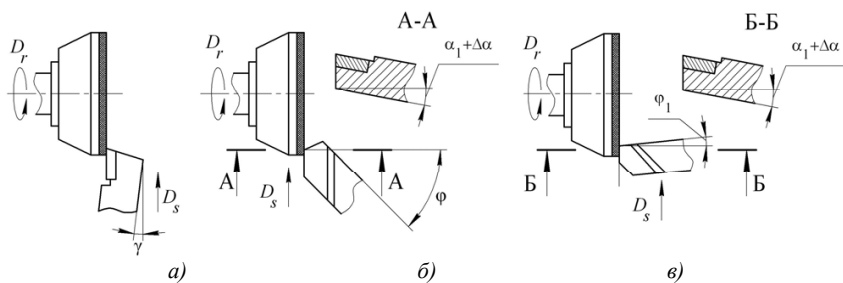


Рис. 7.23. Последовательность заточки резца: а) заточка передней поверхности; б) заточка главной задней поверхности; в) заточка вспомогательной задней поверхности

Дополнительные углы  $\Delta\alpha = 2 \dots 3^\circ$  выполняют для предварительного съема металла со стальной державки резца относительно дешевым электрокорундовым кругом.

Эта последовательность операций сохраняется при заточке и доводке резцов как из твердого сплава, так и из быстрорежущей стали. В зависимости от конструкции резца и конкретных требований некоторые операции могут быть исключены или совмещены друг с другом.

Резцы, как и любой режущий инструмент, в процессе эксплуатации подвергаются периодическим заточкам. Износ (рис. 7.24) проявляется на задней, передней или на обеих поверхностях инструмента одновременно и зависит от свойств инструментального и конструк-



ционного материалов, режима резания, конструкции инструмента, эффективности охлаждения и других факторов. Период стойкости резцов, работающих на автоматизированном оборудовании, определяется критерием износа, при достижении которого они передаются на заточку. Например, для токарных проходных резцов с пластинами из твердого сплава критерием износа является ширина площадки износа по задней поверхности  $h_3 = 1 \dots 1,4$  мм при черновой и  $0,4 \dots 0,6$  мм при чистовой обработке стали.

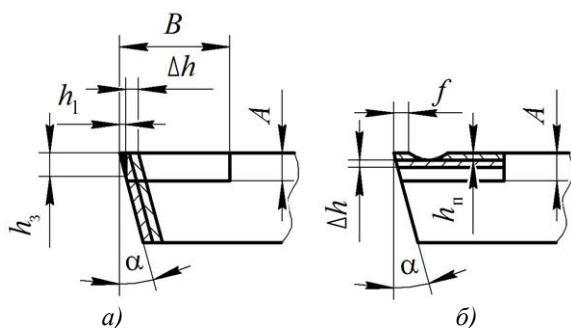


Рис. 7.24. Износ резцов по задней (а) и по передней (б) поверхностям

В общем случае критериальным является износ, при котором срок службы инструмента

$$M = k_n T \quad (7.5)$$

получается наибольшим. В формуле (7.5)  $k_n$  — число заточек резца;  $T$  — период стойкости резца при данном допустимом износе, мин.

В результате износа резец укорачивается на величину  $h_1 = h_3 \operatorname{tg} \alpha$ , что очевидно из рис. 7.24,а. Следовательно, толщина слоя, стачиваемого по задней поверхности резца, определяется шириной фаски износа  $h_3$ , измеряемой вдоль задней поверхности, величиной заднего угла  $\alpha$ , а также дополнительным припуском  $\Delta h = 0,1 \dots 0,2$  мм, гарантирующим удаление дефектного слоя инструментального материала. Учитывая влияние переднего угла  $\gamma$  на величину  $h_3$ , при заточке резца по задней поверхности следует снять слой инструментального материала толщиной

$$Z_3 = \frac{h_3 \operatorname{tg} \alpha}{\cos \gamma} + \Delta h. \quad (7.6)$$

Число заточек в этом случае равно

$$k_{\text{п}} = \frac{\psi \cdot B}{Z_3}, \quad (7.7)$$

где  $\psi$  – коэффициент использования твердосплавной пластины по высоте и длине (обычно  $\psi = 0,6 \dots 0,8$ );  $B$  – длина пластины.

Призматические и круглые фасонные резцы изнашиваются по задней поверхности, но их заточка производится только по передней поверхности. Припуск на заточку в этом случае определяется формулой

$$Z_{\text{п}} = h_{\text{п}} + \Delta h, \quad (7.8)$$

а число заточек равно

$$k_{\text{п}} = \frac{\psi \cdot A}{Z_{\text{п}}}, \quad (7.9)$$

где  $A$  – толщина твердосплавной пластины.

Припуск, стачиваемый за одну заточку, у резцов, которые затачивают по задней поверхности, составляет 0,2...0,6 мм. При заточке фасонных резцов по передней поверхности припуск может достигать до 1,1 мм.

Следует отметить, что широкое применение резцов с механическим креплением твердосплавных неперетачиваемых пластин резко сократило объемы производства такого инструмента с напайными пластинами. В настоящее время в современном инструментальном производстве основная доля затачиваемых резцов приходится на специальные фасонные конструкции этого вида режущего инструмента. При этом возникла необходимость шлифования твердосплавных неперетачиваемых пластин по базовой поверхности на плоскошлифовальных станках алмазными кругами.

### 7.2.3. Заточка сверл

Заточка сверл, как при изготовлении, так и при переточке, производится по задним поверхностям и поперечной кромке. При заточке необходимо обеспечить задаваемый рабочим чертежом угол при вершине сверла  $2\phi$ , задний угол  $\alpha$ , симметричность расположения главных режущих кромок относительно оси сверла, максимально возможную величину и правильное положение поперечной кромки (перемычки) относительно главных режущих кромок.

Заточку производят на специализированных заточных станках для заточки сверл или на универсально-заточных станках с применени-

ем специальных приспособлений, например 3Е642.П10, В3-318.П10, 3Е642.П10 (табл. 7.3).

Формообразование задних поверхностей сверла при заточке определяется его кинематическим взаимодействием с рабочей поверхностью шлифовального круга. В зависимости от получаемой формы заточенной поверхности технологию заточки можно разделить на три основные схемы:

- 1) коническая заточка;
- 2) винтовая заточка;
- 3) плоская заточка.

Выбор конкретной схемы заточки определяется диаметром сверла, его назначением и серийностью выпуска.

Наиболее широко распространена схема *конической заточки*, при которой задняя поверхность сверла представляет собой часть поверхности конуса (рис. 7.25). Сверло закрепляется в зажимном приспособлении, ось вращения которого совпадает с осью  $O_k O_k$  конуса заточки. Сверло, вращаясь вокруг этой оси ( $D_{ср}$ ), одновременно совершает затылюющее движение относительно торца шлифовального круга и осциллирующее вдоль режущей кромки. За один оборот сверла совершается два осциллирующих движения, начинающихся при вступлении в контакт с кругом главных режущих кромок. За счет этого обеспечивается движение затылования задней поверхности с образованием задних углов  $\alpha$ . Величина заднего угла зависит от положения воображаемого конуса заточки, определяемого смещением его оси от оси сверла на величину  $K_c = (0,50...0,65)D_{св}$ , а также расстоянием между вершиной конуса и осью сверла  $h_{ср} = (1,8...1,9)D_{св}$ , где  $D_{св}$  – наружный диаметр сверла. Вершина воображаемого конуса заточки находится выше вершины сверла, а оси конуса и сверла находятся под углом  $\delta = 20^\circ$  или  $45^\circ$ . (Применяют и вариант конической заточки, при котором вершина конуса заточки находится ниже вершины сверла, но он в данном случае не рассматривается.)

Коническая заточка применяется при изготовлении спиральных сверл. Особенностью конической заточки является уменьшение задних углов по мере увеличения текущего диаметра сверла. Следует отметить, что передние углы сверла образуются винтовой поверхностью стружечной канавки и возрастают по мере увеличения текущего диаметра. Пропорциональное увеличение переднего угла  $\gamma$  и уменьшение заднего угла  $\alpha$  при заточке обеспечивают постоянство угла  $\beta$  при вер-

шине режущего лезвия и, соответственно, равнопрочность лезвия по всей длине главной режущей кромки.

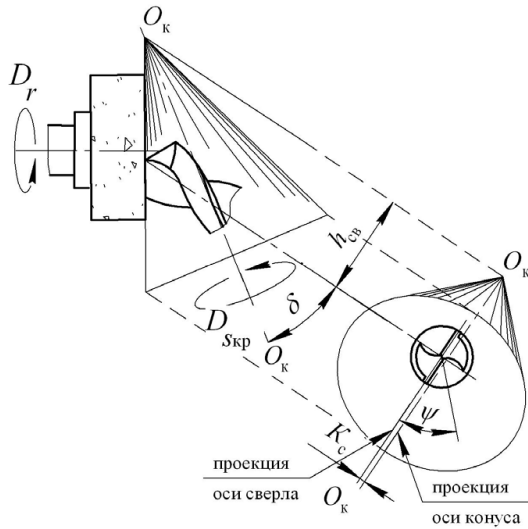


Рис. 7.25. Схема заточки сверла по конической поверхности

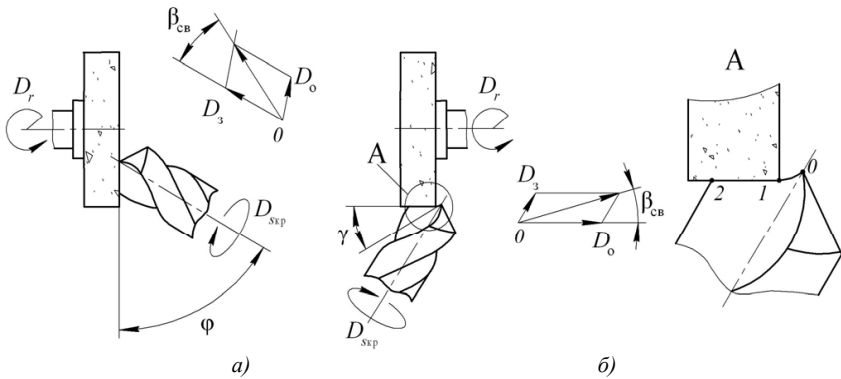


Рис. 7.26. Заточка сверла по винтовой поверхности торцом (а) и периферией (б) шлифовального круга

При *винтовой заточке* сверло совершает вращательное движение вокруг своей оси  $D_{скр}$  (рис. 7.26) и поступательное движение под углом  $\beta_{св} = 10...30^\circ$  к этой оси, возникающее за счет сложения движения осцилляции  $D_0$ , параллельного режущей кромке сверла, и движения

затылования  $D_3$ , вдоль оси сверла, получаемых от кулачков. Эти два движения могут совершать сверло или шлифовальный круг, в зависимости от модели заточного станка. Задняя поверхность сверла образуется прямой линией, совершающей винтовое движение.

Винтовая заточка имеет две разновидности: без заострения (рис. 7.26,а) и с заострением (рис. 7.26,б). В первом случае, при заточке без заострения, ось сверла при движении осцилляции не выходит за пределы рабочей поверхности круга. При заточке с заострением на режущей кромке формируются участки 0–1 и 1–2. На участке 0–1, ограниченном диаметром, примерно равным диаметру сердцевины сверла, производится заточка угловой кромкой круга, а участок 1–2 – периферией круга. В результате на участке 0–1 образуется заострение перемычки сверла, которое снижает отрицательные значения передних углов и уменьшает осевую силу при сверлении таким инструментом.

Винтовую заточку применяют для заточки ступенчатых сверл, центровочных сверл и монокристаллических твердосплавных сверл.

*Плоская заточка* – наиболее простая по сравнению с другими видами заточки (рис. 7.27). Для получения задней поверхности в форме плоскости, заднего угла  $\alpha$  и угла наклона поперечной кромки  $\psi$  сверло устанавливают неподвижно в приспособлении на столе станка и ориентируют относительно плоской рабочей поверхности шлифовального круга под углом  $90^\circ - \varphi$  в вертикальной плоскости и под углом  $90^\circ - \alpha$  в горизонтальной плоскости (рис. 7.28).

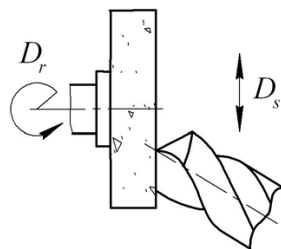


Рис. 7.27. Заточка сверла по плоскости

Различают одно- и двухплоскостную заточку. Двухплоскостная заточка (рис. 7.28) с образованием углов  $\alpha$  и  $\alpha_1$  применяется для исключения вероятности контакта при сверлении задней поверхности инструмента с обрабатываемой поверхностью за счет дополнительного угла  $\alpha_1$ . В этом случае формируются две плоскости: главная и дополнительная. Линия пересечения плоскостей проходит через ось сверла с наклоном относительно главной режущей кромки под углом  $10...20^\circ$  на расстоянии  $(0,1...0,3)K_c$  от его передней поверхности. Здесь  $K_n$  – длина перемычки.

Заточка по плоскости предназначена в основном для твердосплавных сверл и сверл небольших диаметров.

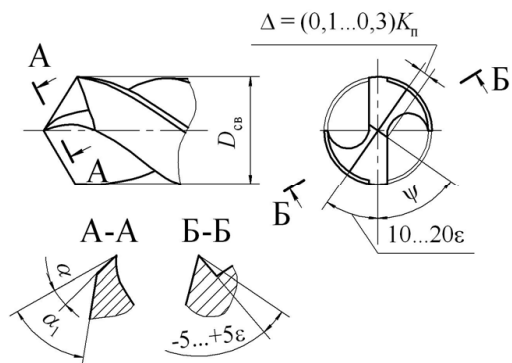


Рис. 7.28. Заточка сверла по двум плоскостям

После выполнения заточки задних поверхностей, как правило, следует операция подточки поперечной кромки сверла. Подточка обеспечивает получение положительного угла  $\gamma$  и уменьшение длины поперечной кромки сверла (рис. 7.29).

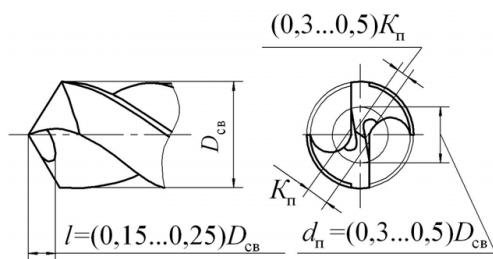


Рис. 7.29. Нормальная подточка сердцевины сверла

При подточке поперечной кромки, примерные размеры которой приведены на рис. 7.30, сверло следует установить относительно рабочей поверхности шлифовального круга под определенными углами вокруг вертикальной и горизонтальной плоскостей. Для получения заданного направления подточки необходимо развернуть сверло в горизонтальной плоскости на угол  $\delta_1$ . В вертикальной плоскости поворот сверла на угол  $\delta_2$  обеспечит заданную длину подточки.

Подточку производят на универсально-заточных или специальных станках для заточки сверл. При заточке сверл на шлифовально-заточных центрах операции заточки задней поверхности и подточку поперечной кромки совмещают в одной операции.

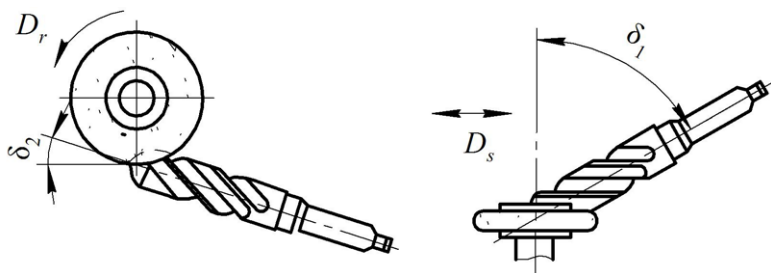
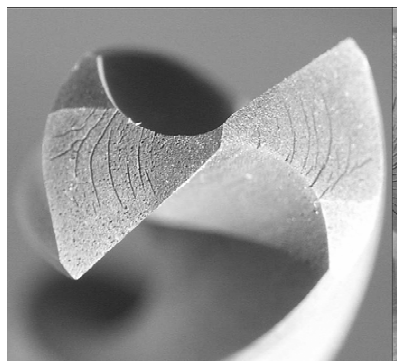
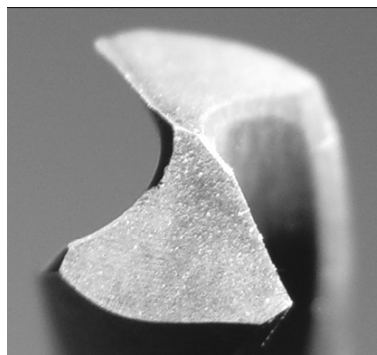


Рис. 7.30. Схема установки шлифовального круга при подточке поперечной кромки сверла

После заточки сверл производят контроль полученного угла  $\varphi$  при вершине, симметричность режущих кромок и параметров поперечной кромки. Проверяют наличие прижогов и микротрещин на заточенной задней поверхности, состояние главных режущих кромок. На рис. 7.31 приведены фотографии спиральных сверл после заточки задних поверхностей.



а



б

Рис. 7.31. Задние поверхности сверла после заточки:  
а) с микротрещинами; б) без дефектов

Заточка с неблагоприятным термическим режимом приводит к формированию сети микротрещин в поверхностном слое заточенной поверхности (рис. 7.31,а). Только создание необходимых технологических условий при заточке (оптимальные режимы обработки и характеристика шлифовального круга, эффективная подача СОТС и т. д.) дает возможность получить режущий инструмент с требуемыми параметрами качества (рис. 7.31,б).

#### 7.2.4. Заточка фрез

При изготовлении дисковых, цилиндрических и угловых фрез их абразивная обработка производится, как правило, в такой последовательности:

- шлифование базовых поверхностей отверстия и торцов;
- заточка передней поверхности каждого зуба;
- шлифование наружного диаметра;
- заточка задней поверхности каждого зуба.

Отверстия и торцы затачиваемой фрезы служат конструкторскими базами при эксплуатации фрезы и технологическими базами при ее изготовлении и последующих заточках. Фрезу закрепляют на цилиндрической центровой оправке, которую устанавливают в центрах передней и задней бабок универсально-заточного станка (рис. 7.32) или в универсальной головке. Заточку проводят кругами чашечной и тарельчатой формы типа 12, 12А2, 12V5 и др., как правило, без применения жидких смазочно-охлаждающих средств (сухая заточка).

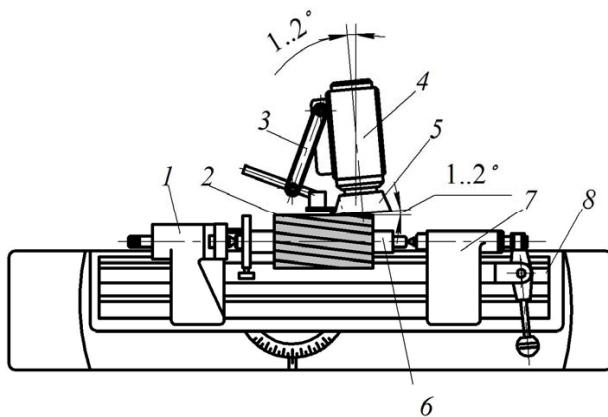


Рис. 7.32. Наладка заточного станка для заточки цилиндрической фрезы с винтовыми стружечными канавками: 1 – передняя бабка; 2 – фреза; 3 – упорка; 4 – шлифовальная головка; 5 – шлифовальный круг; 6 – центровая оправка; 7 – задняя бабка; 8 – стол

Рабочую поверхность круга разворачивают в горизонтальной плоскости на угол  $1...2^\circ$  относительно направления продольной подачи, чтобы устранить подрезание зуба и уменьшить площадь касания круга с затачиваемой поверхностью.



На рис. 7.33 показаны схемы наладок для заточки зубьев фрезы по задней и передней поверхностям. Здесь положение затачиваемого зуба фрезы фиксируется упоркой 3.

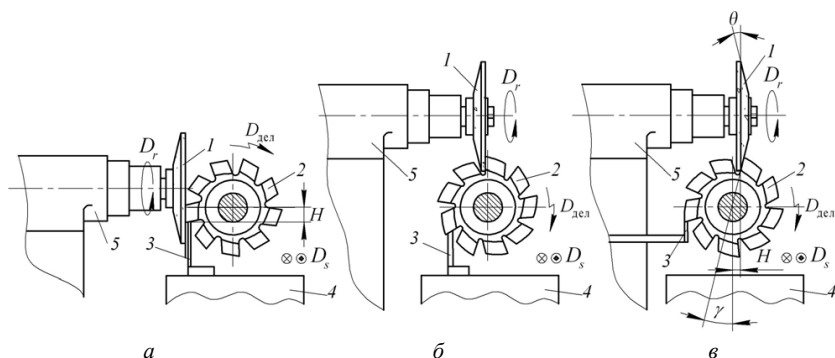


Рис. 7.33. Схемы заточки фрез по задней (а) и передней (б, в) поверхностям: 1 – шлифовальный круг; 2 – фреза; 3 – упорка; 4 – стол станка; 5 – шлифовальная головка

Для получения требуемого заднего угла  $\alpha$  необходимо обеспечить смещение оси фрезы относительно упорки на величину

$$H = \frac{D_{\phi}}{2} \sin \alpha, \quad (7.10)$$

относительно оси вращения круга и зафиксировать положение затачиваемого зуба с помощью упорки 3 (рис. 7.33,а). Здесь  $D_{\phi}$  – наружный диаметр фрезы.

При заточке фрезы с винтовыми стружечными канавками величина смещения определяется по формуле

$$H = \frac{D_{\phi}}{2} \operatorname{tg} \alpha_n \cos \omega, \quad (7.11)$$

где  $\alpha_t$  – задний угол в торцовом сечении,  $\operatorname{tg} \alpha_t = \operatorname{tg} \alpha_n \cos \omega$ ;  $\alpha_n$  – нормальный задний угол;  $\omega$  – угол подъема канавки.

Заточку по передней поверхности фрез с прямыми стружечными канавками или с их незначительным (до  $10^\circ$ ) наклоном производят плоской рабочей поверхностью круга (рис. 7.33,б), а с винтовыми канавками – его конической поверхностью (рис. 7.33,в).

Если передний угол зуба фрезы  $\gamma = 0$ , то плоскость рабочей поверхности круга проходит через ось фрезы (рис. 7.33,б), а при  $\gamma > 0$  (рис. 7.33,в) производится его смещение на величину

$$H = \frac{D_\phi}{2} \sin \gamma . \quad (7.12)$$

При заточке винтовой канавки по передней поверхности смещение рабочей поверхности круга относительно оси вращения фрезы равно

$$H = \frac{0,5D_\phi \sin(\gamma_n + \theta) \cos \omega}{\sqrt{\cos^2(\gamma_n + \theta) + \sin^2(\gamma_n + \theta) \cos^2 \omega}} , \quad (7.13)$$

где  $\theta$  – угол при вершине шлифовального круга;  $\gamma_n$  – нормальный передний угол;  $\operatorname{tg} \gamma_n = \operatorname{tg} \gamma \cos \omega$ .

Если при заточках фасонной фрезы с затылованной задней поверхностью и передним углом  $\gamma > 0$  (рис. 7.33, в) необходимо сохранять высоту фасонного профиля по мере уменьшения наружного диаметра фрезы, то следует изменять передний угол исходя из соотношения

$$\operatorname{ctg} \gamma_x = \frac{0,5D_\phi}{(0,5D_x - h) \sin \varphi_x} - \operatorname{ctg} \varphi_x , \quad (7.14)$$

где  $\varphi_x = \arcsin \frac{0,5D_\phi \sin \gamma}{0,5D_\phi - h} - \gamma$ ;  $D_x$  – наружный диаметр переточенной фрезы;  $h$  – высота профиля инструмента, не изменяющаяся при заточках.

Положение затачиваемой фрезы относительно круга и движение деления  $D_{\text{дел}}$  фрезы с зуба на зуб обеспечивают с помощью универсальной упорки 3, входящей в комплект приспособлений универсально-заточного станка. Упорку при заточке фрез с прямыми стружечными канавками закрепляют на столе станка, её упругая пластина должна фиксировать положение затачиваемого зуба, как это показано на рис. 7.33, а, б. После заточки первого зуба фрезу вручную поворачивают по часовой стрелке. Пластина упорки отжимается от задней поверхности фрезы и упирается в следующий зуб, аналогично действию храпового механизма.

При заточке фрезы с винтовыми стружечными канавками упорка 3 (рис. 7.32; 7.33, в) служит как для деления, так и для придания заготовке винтового движения, поэтому её закрепляют не на столе 4, а на шлифовальной головке 5 станка, чтобы обеспечить их относительное движение. В процессе заточки фреза, перемещаясь поступательно вместе со столом, совершает еще вращательное движение при перемещении упора по винтовой стружечной канавке.

Заточку фрез с прямыми стружечными канавками производят также и с применением универсальной головки, являющейся, как и универсальная упорка, принадлежностью универсально-заточного станка, например мод. ЗЕ642Е (табл. 7.3). Головка обеспечивает процесс деления с помощью специального храпового делительного механизма на 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12 или 24 части (по числу зубьев затачиваемой фрезы). Съем припуска при заточке производится как по схеме многопроходного, так и глубинного шлифования.

В первом случае после каждого двойного хода шлифовального круга производится движение деления для заточки следующих зубьев. Шлифование осуществляется за несколько полных оборотов заготовки фрезы до полного снятия припуска.

Во втором случае выполняется удаление припуска с передней поверхности за один рабочий ход, а после этого производится движение деления. Весь припуск снимается за один полный оборот заготовки фрезы.

Технологический процесс обработки осевого инструмента на универсальных заточных станках построен на разделении технологических операций, когда обработка каждой из поверхностей выполняется на отдельной операции. Наиболее эффективна с точки зрения производительности и качества обработки заточка осевого инструмента на шлифовально-заточных центрах с ЧПУ. Их использование позволяет вышлифовать стружечные канавки и затем затачивать комплекс поверхностей инструмента в автоматическом режиме в одной технологической операции, сокращая тем самым вспомогательное время обработки.

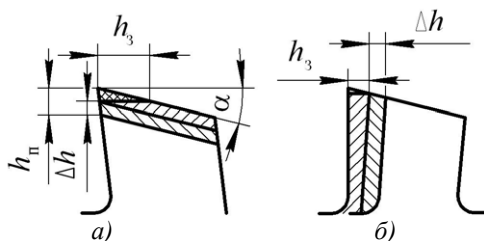


Рис. 7.34. Износ по задней поверхности фрезы с незатылованным (а) и с затылованным (б) зубом

Одной из обязательных операций инструментального производства является переточка изношенного инструмента. Износ фрез в процессе эксплуатации зависит прежде всего от свойств инструментального и конструкционного материалов, режима резания, конструкции

инструмента. Основным является износ по задней поверхности на величину  $h_3$  (рис. 7.34). Критерием затупления фрезы обычно принимают износ по задней поверхности  $h_3 = 0,3...0,5$  мм. Заточка фрез с незатылованными зубьями производится по задней поверхности, а с затылованными – по передней. Толщина слоя металла, сошлифовываемого за одну заточку,

для фрез с незатылованными зубьями равна

$$Z_3 = \frac{h_3 \operatorname{tg} \alpha \cos(\alpha + \gamma)}{\cos \gamma} + \Delta h; \quad (7.15)$$

для фрез с затылованными зубьями:

$$Z_n = h_3 + \Delta h, \quad (7.16)$$

где  $\Delta h = 0,1...0,2$  мм – дополнительный слой на заточку для гарантированного удаления дефектов.

### 7.2.5. Заточка червячных фрез

В машиностроении широко распространены червячные зуборезные и червячные шлицевые фрезы. Они представляют собой разновидность фрез с затылованными зубьями, заточка которых производится исключительно по передней поверхности (рис. 7.33,б).

Заточку червячных фрез производят на специализированных заточных станках с ручным и автоматическим управлением, на универсально-заточных станках с применением специальных приспособлений (табл. 7.3), а также на специальных шлифовально-заточных центрах с ЧПУ, предназначенных для заточки червячных фрез (табл. 7.5). Шлифовально-заточные центры обеспечивают заточку насадных и хвостовых одно- и многозаходных червячных фрез в автоматическом режиме.

Заточку выполняют конической поверхностью шлифовальных кругов типов 12, 12V5, 4V9. Фреза, установленная на центровой оправке, вместе со столом станка совершает возвратно-поступательные движения со взаимосвязанным одновременным поворотом для образования винтовой поверхности. Шлифовальную головку разворачивают на угол установки  $\omega_1$ , отличающийся на  $1...2^\circ$  от угла наклона винтовой линии стружечной канавки. Для обеспечения необходимого переднего угла  $\gamma$  рабочую поверхность шлифовального круга располагают так, чтобы образующая конической поверхности круга находилась в плоскости, проходящей через ось фрезы (при  $\gamma = 0$ ), или отстояла от этой плоскости на величину  $H$ , определяемую по форму-

ле (7.11). Движение деления обеспечивают с помощью делительного диска. На станке с ЧПУ движение деления производится с помощью управляемого поворота  $A$  вокруг оси  $X$ .

Таблица 7.5

Основные характеристики шлифовально-заточных центров  
ВЗ-531Ф4-03 и ВЗ-531Ф4-04

Параметр	Величина, параметр
Число управляемых осей системы ЧПУ: ВЗ-531Ф4-03 ВЗ-531Ф4-04	5 4
Наружный диаметр затачиваемой фрезы, мм	40...200
Длина затачиваемой червячной фрезы, мм: насадной хвостовой	200 400
Угол подъема винтовой стружечной канавки	0...15
Наибольшая точность затачиваемых фрез по ГОСТ 9324-80	AA

Принципиальная схема установки заготовки червячной фрезы на станке аналогична схеме, показанной на рис. 7.33,в.

К точности изготовления червячных фрез предъявляются жесткие требования

- по допуску на накопленную погрешность окружных шагов;
- по допуску на отклонение передней поверхности от номинального положения в сторону поднутрения;
- по допуску на погрешность направления стружечных канавок.

Указанные требования обусловлены особенностью конструкции червячных фрез, которая заключается в том, что режущие зубья располагаются, как правило, по винтовой линии, а передние поверхности, образованные винтовыми канавками, представляют собой винтовые поверхности: при  $\gamma = 0$  – прямой геликоид, при  $\gamma > 0$  – конволютную винтовую поверхность. Угол подъема винтовой канавки на среднем диаметре фрезы меньше угла подъема винтовой канавки для точек профиля на вершине зуба и больше для точек профиля во впадине зуба. Вследствие этого передние поверхности зуба представляют собой не плоскость, а повторяют форму архимедовой спирали [14].

Поэтому в процессе заточки червячной фрезы шлифовальным кругом с плоской или конической рабочей поверхностью передняя поверхность зуба фрезы не получается плоской, а приобретает выпуклость с отклонением  $f_p$  (рис. 7.35). Величина выпуклости зависит

от диаметра шлифовального круга и угла наклона стружечной канавки  $\omega$ . С увеличением угла  $\omega$  погрешность  $f_p$  возрастает, что негативно сказывается на точности профиля зуба фрезы, а в итоге на точности профиля зуба фрезеруемого колеса.

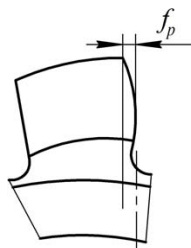


Рис. 7.35. Отклонение профиля передней поверхности от плоскости

Технические требования на изготовление червячных фрез классов точности *AA* и *A* жестко регламентируют погрешность формы передней поверхности (табл. 7.6). Это вызывает дополнительные трудности при заточке червячных фрез с винтовыми стружечными канавками, особенно с углом  $\omega > 5^\circ$ .

Таблица 7.6

Допуск на отклонение передней поверхности от плоскости, мкм

Проверяемый параметр фрезы	Класс точности фрезы	Модули, мм					
		0,6 до 1,0	Свыше 1,0 до 1,6	Свыше 1,6 до 2,5	Свыше 2,5 до 4	Свыше 4 до 6,3	Свыше 6,3 до 10
Отклонение $f_p$ от номинального положения образующей передней поверхности в сторону поднутрения	AA	10	10	12	16	20	25
	A	12	16	20	25	32	40
	B	25	32	40	50	63	80
	C	50	63	80	100	125	160

Фрезы классов точности и больших диаметров и с малым углом наклона канавки (до  $3^\circ$ ) можно затачивать как инструмент с прямыми стружечными канавками ( $\omega = 0$ ), так как погрешности, возникающие при заточке, находятся в пределах допуска.

Значительная погрешность  $f_p$  возникает при заточке конической поверхностью шлифовального круга многозаходных фрез с малым наружным диаметром и червячных фрез с большим углом наклона винтовых стружечных канавок.

Снижения выпуклости передней поверхности и, соответственно, погрешности  $f_p$  можно достичь:

- уменьшением наружного диаметра применяемого шлифовального круга с конической рабочей поверхностью;
- увеличением угла профиля  $\theta$  шлифовального круга тарельчатой формы 12, 12V5, 4V9 и др. путем подбора типа круга или его правкой;

– формированием при правке на конической поверхности круга талерчатой формы радиусной образующей вместо прямолинейной.

Количество заточек  $k_n$  червячной фрезы в процессе ее эксплуатации лимитируется необходимостью сохранения допустимых размеров профиля зубьев и определяется по формуле

$$k_n = \frac{pr_a}{Z_n} \cdot \frac{\Psi_r}{180}, \quad (7.17)$$

где  $r_a$  – радиус по вершинам зубьев фрезы;  $\Psi_r$  – угол между передней поверхностью и исходной плоскостью зуба;  $Z_n$  – толщина слоя металла на передней поверхности, удаляемого за одну заточку;  $p$  – осевой шаг резьбы.

### 7.2.6. Заточка долбяков

Точность изготовления зуборезных долбяков в значительной степени зависит от заточки, которая производится по передней поверхности.

При заточке прямозубых долбяков шлифуют коническую поверхность, которая образует переднюю поверхность зубьев, периферией шлифовального круга прямого профиля. Обработку выполняют на плоскошлифовальном станке с круглым столом (рис. 7.36), на внутришлифовальном или универсально-заточном станках.

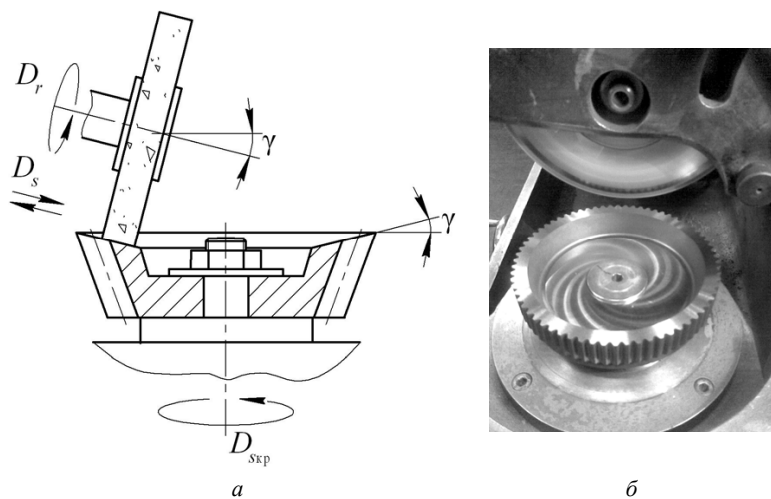


Рис. 7.36. Заточка долбяка по передней поверхности: а) схема настройки; б) процесс заточки

Основными требованиями к точности заточки являются минимальное отклонение величины переднего угла  $\gamma$  от требований рабочего чертежа и максимальная концентричность режущих кромок. В процессе заточки ось вращения долбяка и ось шпинделя шлифовального станка должны располагаться в одной плоскости. Радиус шлифовального круга должен быть меньше радиуса кривизны шлифуемой конической передней поверхности долбяка в сечении, перпендикулярном к ее образующей.

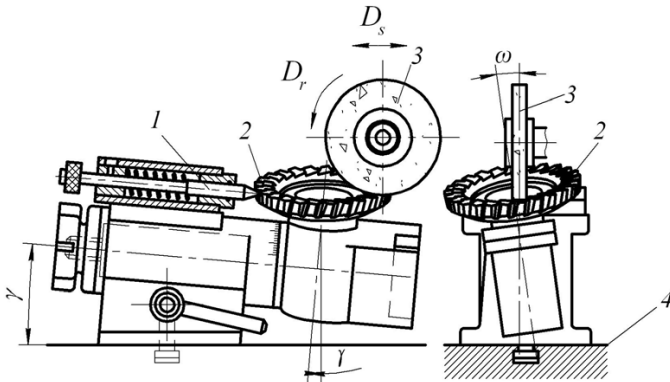


Рис. 7.37. Заточка косозубого долбяка

Заточку косозубых долбяков производят на универсально-заточных станках с применением, например, специального поворотного приспособления (рис. 7.37). В отличие от прямозубых долбяков, заточку выполняют путем плоского шлифования каждого зуба в отдельности периферией круга прямого профиля. Движение деления на каждый зуб производится без делительного диска, непосредственно по впадинам долбяка с помощью фиксатора 1. Получение переднего угла  $\gamma$  и угла наклона зубьев  $\omega$  обеспечивается соответствующим положением долбяка.

### 7.2.7. Заточка протяжек

Заточку протяжек производят на специальных заточных станках, имеющих шлифовальную бабку, которая поворачивается в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Типичным примером служит станок модели ВЗ-495Ф1, предназначенный для заточки круглых, плоских и шлицевых протяжек. Основные технические характеристики станка приведены в табл. 7.7.



## Техническая характеристика станка ВЗ-495Ф1

Параметр станка	Единица измерения	Величина параметра
Наибольший диаметр круглой протяжки, устанавливаемой в центрах	мм	200
Наибольшая длина круглой протяжки, устанавливаемой в центрах	мм	1400
Наибольшая ширина плоской протяжки с прямыми зубьями с зубьями, расположенными под углом 30 град.	мм	250 120
Абразивный шлифовальный круг диаметр круга типа 1 (ПП) и 12 (Т) диаметр круга типа 6 (ЧЦ)	мм	25...200 125
Наибольший диаметр алмазного и эльборового шлифовальных кругов	мм	125
Окружная скорость шлифовального круга	м/с	до 35
Наибольшее продольное перемещение стола	мм	1200
Наибольшее перемещение колонны	мм	300
Высота центров над рабочей поверхностью стола	мм	160
Углы поворота шлифовальной бабки в вертикальной плоскости в горизонтальной плоскости	град.	0...90 ±30
Частота вращения шлифовального шпинделя	об/мин	3000– 21000
Мощность привода шлифовальной головки	кВт	2,2
Скорость перемещения шлифовальных салазок	мм/мин	50...3000
Дискрета цифровой индикации	мм	0,01
Суммарная мощность установленных электродвигателей	кВт	6,326
Масса станка с приставным оборудованием и пр.	кг	5150

Протяжки являются режущим инструментом, предназначенным для чистовой обработки. Так, протяжки для внутреннего протягивания формируют окончательный размер и форму отверстия, поэтому при заточке протяжек по передней поверхности следует учитывать служебное назначение черновых, чистовых и калибрующих зубьев. Заточку изношенной протяжки целесообразно проводить сначала на черновых зубьях, затем затачивать чистовые зубья, на которых отмечен износ по задней поверхности. Из калибрующих зубьев подлежат заточке только те, которые имеют следы износа и фактически перешли в группу чистовых режущих зубьев.

Заготовку протяжки устанавливают в центрах станка. При значительной длине протяжки, во избежание прогиба при заточке, ее

поддерживают домкратом, который подводят снизу до касания с поверхностью зуба. Заточку выполняют сначала по передней, затем по задней поверхности.

У круглых протяжек для обработки отверстий передняя поверхность при положительном переднем угле имеет коническую форму. Для того чтобы не происходило подрезания режущей кромки и искажения передней поверхности, ее заточку производят конической поверхностью шлифовального круга. Радиус кривизны конической поверхности круга  $R_k$  должен быть меньше радиуса кривизны передней поверхности  $R_n$  (рис. 7.38), а наружный диаметр  $D_k$  шлифовального круга должен быть ограничен [17] соотношением

$$D_k < 0,765 D_1 \frac{\sin(\xi - \gamma)}{\sin \gamma}, \quad (7.18)$$

где  $D_1$  – диаметр протяжки по впадинам стружечных канавок.

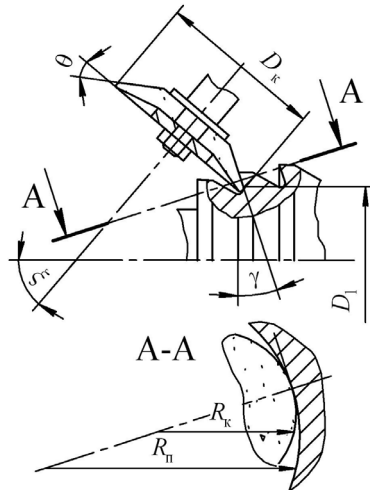


Рис. 7.38. Заточка круглой внутренней протяжки по передней поверхности

Угол установки оси шлифовального шпинделя (угол между осью протяжки и осью вращения круга) равен

$$\xi = \theta - \gamma, \quad (7.19)$$

где  $\theta$  – угол наклона образующей конической поверхности круга.

Формирование конической поверхности шлифовального круга под углом  $\theta$  производится с помощью его правки непосредственно на станке (рис. 7.39).

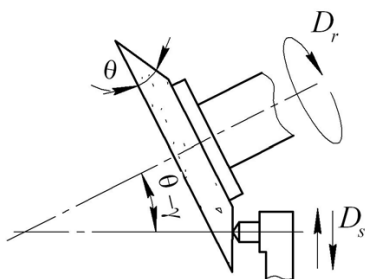


Рис. 7.39. Установка шпинделя шлифовального круга при правке конической поверхности круга тарельчатой формы

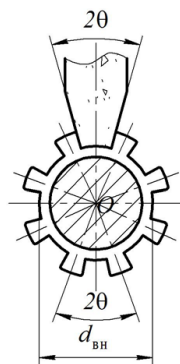


Рис. 7.40. Схема шлифования прямоблочных шлицев

Одновременное шлифование боковых поверхностей шлицев и внутреннего диаметра шлицевой протяжки выполняют методом копирования шлифовальным кругом фасонного профиля (рис. 7.40). Шлифование производят на специальных шлицешлифовальных станках, например, станке RSM/KSA 1600-К фирмы REFORM (Германия), оснащенный механизмом правки с системой ЧПУ. Правка круга производится по боковым сторонам профиля однокристалльным правящим инструментом – алмазом в оправе. Общий угол боковых поверхностей заправленного круга должен быть равен углу  $2\theta = 360^\circ/n$ , где  $n$  – число шлицев протяжки. Периферию круга заправляют по радиусу  $0,5d_{\text{вн}}$  (рис. 7.40).

Для формирования задних углов на боковых поверхностях зубьев шлицевых и модульных протяжек производят подъем заднего центра протяжки при заточке. Профиль становится более узким у основания зуба с образованием вспомогательного угла в плане  $\phi_1$ . Стойкость протяжек с углами  $\phi_1 > 0$  увеличивается, а качество обработанной поверхности возрастает, однако искажение профиля, вносимое подъемом центра, может выйти за пределы поля допуска на размер протягиваемой детали. В этом случае производят корригирование угла профиля по формуле

$$\theta_k = \theta - \phi_1. \quad (7.20)$$

Величину подъема заднего центра определяют по формуле

$$h_{\text{Ц}} = \frac{(R_2 - R_1)L_{\text{П}}}{l_R} \cdot \frac{\sin \phi_1}{\sin \theta_k}, \quad (7.21)$$

где  $l_R$  – расстояние между зубьями с радиусами  $R_1$  и  $R_2$ ;  $L$  – общая длина протяжки.

На рис. 7.41 показан профиль протяжки в поперечном сечении, полученный после шлифования шлицев и канавок у основания зубьев. Как видно, здесь выполняется условие  $\theta_k > \theta$ , обеспечивающее получение задних углов  $\alpha > 0$ .

После заточки зубьев по передней и задней поверхностям производят вышлифовывание стружкоразделительных канавок и выкружек методом врезания периферией круга с соответствующим профилем. Ось круга должна иметь смещение горизонтальное  $E$  относительно передней поверхности (рис. 7.42) для образования задних углов на

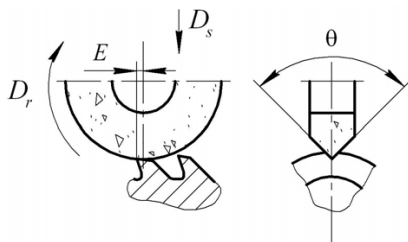


Рис. 7.42. Вышлифовывание стружкоразделительных канавок

кромках стружкоразделительной канавки. Если величина  $E$  будет недостаточной, то при заточке могут быть получены слишком малые или даже отрицательные задние углы, которые вызывают чрезмерно большой износ уголков.

Заточку изношенных протяжек производят только по передним поверхностям из-за необходимости сохранения формы профиля и минимизации уменьшения наружного диаметра. Исключение составляют наружные и шпоночные протяжки, которые можно затачивать по задним поверхностям. В этом случае после нескольких заточек необходимо вышлифовывать впадины зубьев и производить заточку и по передней поверхности для восстановления высоты зуба.

Технологически проще выполняется заточка плоских протяжек. На рис. 7.43 приведен пример заточки плоской сборной протяжки для обработки зубчатого профиля рейки рулевого управления автомобиля. Заточку производят эльборовым кругом на керамической связке на универсально-заточном станке с применением технологической оснастки, входящей в комплектацию станка.

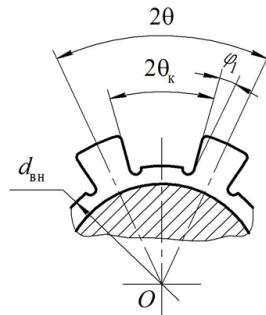


Рис. 7.41. Окончательный профиль, полученный в результате шлифования

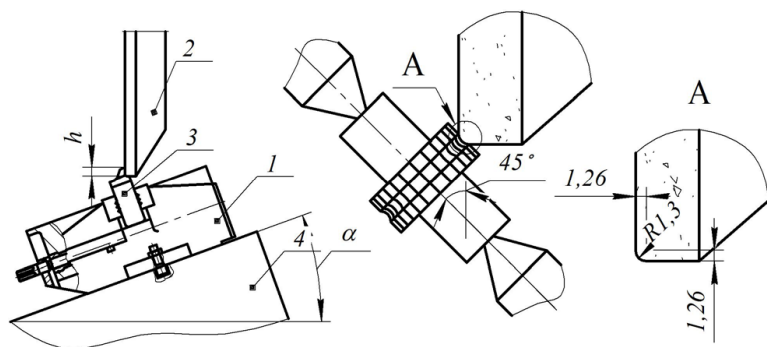


Рис. 7.43. Схема заточки зубьев плоской сборной протяжки: 1 – тиски; 2 – шлифовальный круг; 3 – заготовка; 4 – стол станка

Заготовка закрепляется в тисках с углом наклона, равным значению переднего угла (в данном случае он равен  $20^\circ$ ). Так как передняя поверхность зубьев у них имеет плоскую форму, то достаточно прямолинейного движения подачи круга, обеспечивающего получение плоскости и галтели в месте перехода от передней поверхности к стружечной канавке. Для получения галтели на угловой кромке шлифовального круга формируют закругление с необходимым радиусом с помощью, например, правки накатным роликом.

### 7.3. Вышлифовывание стружечных канавок и спинок инструментов осевого класса

Вышлифовывание стружечных канавок – это процесс высокоскоростного глубинного шлифования, при котором канавка полностью или поэлементно формируется профильным шлифовальным кругом на целой заготовке. Эта операция может заменить операцию фрезерования стружечных канавок и выполняется после операции основной термообработки и предварительного шлифования наружного диаметра заготовки. Преимущество операции вышлифовывания перед фрезерованием заключается в высокой производительности обработки, точности и лучшей шероховатости обработанных поверхностей. Вышлифовывание стружечных канавок производят при изготовлении сверл, зенкеров, разверток, концевых фрез, метчиков и другого инструмента преимущественно осевого класса (рис. 7.44).

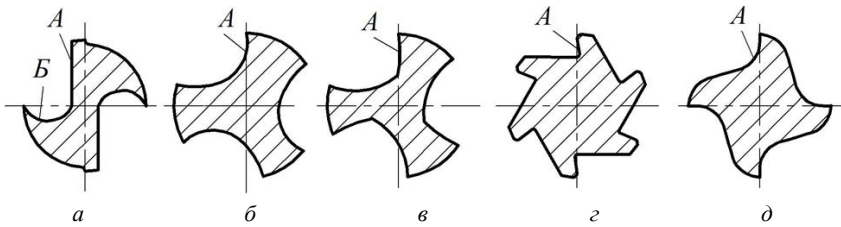


Рис. 7.44. Форма стружечных канавок спирального сверла (а), метчика (б), зенкера (в), развертки (г), фрезы (д)

Шлифование таких канавок производится методом копирования, поэтому рабочая поверхность шлифовального круга должна иметь соответствующий профиль, который получают правкой.

Вышлифовывание выполняют на специальных шлифовальных станках-автоматах, предназначенных для выполнения только этой операции, и шлифовально-заточных центрах с ЧПУ, способных к выполнению широкого спектра работ.

Рассмотрим особенности процесса формирования стружечных канавок и спинок сверл осевого инструмента.

Стружечные канавки спиральных сверл с наружным диаметром до 30 мм и более вышлифовывают без предварительного фрезерования. Угол наклона винтовых стружечных канавок составляет  $10...35^\circ$ , глубина канавок  $(0,35...0,45)D_{св}$ , а ширина канавки примерно равна ширине пера сверла. Подъем сердцевинки сверл составляет  $1,2...1,8$  на 100 мм его длины, а высота ленточек сверла  $(0,02...0,03)D_{св}$ . Все указанные параметры достигаются в процессе вышлифовывания канавки и спинки.

При изготовлении сверл из быстрорежущей стали обычно применяют радиусно-угловой и двухрадиусный профили шлифовального круга (рис. 7.45) [13]. Для повышения стойкости угловой кромки круга ее скругляют радиусом  $r \approx (0,1...0,15)D_{св}$ . Стружечная канавка сверла состоит из двух участков (рис. 7.44,а): передней поверхности А, образующей главную режущую кромку, и винтовой поверхности В.

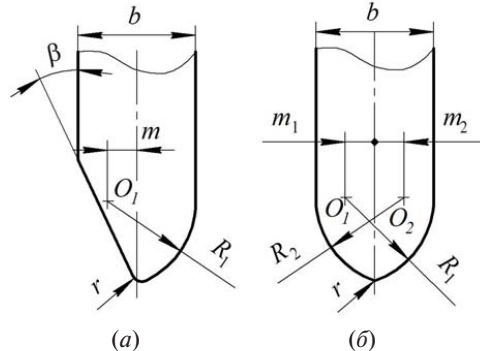


Рис. 7.45. Радиусно-угловой (а) и двухрадиусный (б) профили шлифовального круга

Передняя поверхность формируется частью профиля шлифовального круга, содержащей дугу окружности  $R_1$ . Винтовая поверхность формируется вершиной круга с радиусом  $r$  и угловой частью профиля с углом  $\beta = 15...35^\circ$  (рис. 7.45,а) или радиусной с дугой  $R_2$  (рис. 7.45,б).

Угол установки шлифовального круга  $\omega_1$  относительно оси заготовки сверла должен на  $2...5^\circ$  отличаться от угла наклона  $\omega$  стружечной канавки (рис. 7.46).

Спинка у сверла представляет собой поверхность, соосную наружной поверхности сверла — ленточке. Шлифование спинки производят с установкой оси шлифовального круга в осевой (рис. 7.47,а) или нормальной (рис. 7.47,б) плоскости сверла.

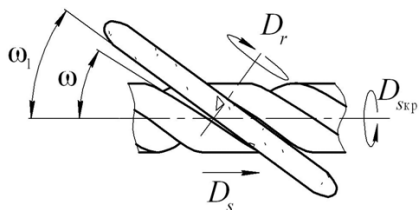


Рис. 7.46. Установка шлифовального круга при вышлифовывании стружечной канавки

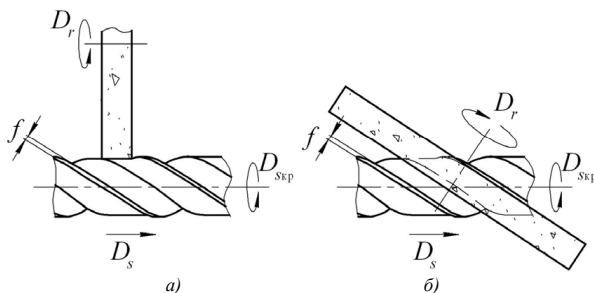


Рис. 7.47. Установка шлифовального круга при вышлифовывании спинки сверла: а) в осевой; б) в нормальной плоскости

В первом случае (рис. 7.47,а) применяют круг прямой цилиндрической формы (тип 1, см. 6.2.2), ось вращения которого располагается параллельно оси сверла для формирования спинки цилиндрической формы или с наклоном к ней под небольшим углом (для получения спинки со спадом). Во втором случае (рис. 7.47, б) ось шлифовального круга цилиндрической или конической формы устанавливается под углом  $(90^\circ - \omega)$  к оси вращения заготовки, т. е. аналогично установке при вышлифовывании канавки (рис. 7.46) круга. В обоих случаях передняя поверхность стружечной канавки точно ориентируется относительно рабочего торца шлифовального круга для получения требуемой ширины ленточки  $f$ .

Вышлифовывание стружечных канавок концевых фрез аналогично обработке сверл. Некоторые особенности обусловлены конструктивными отличиями фрез. Они имеют не две, а три-шесть винтовых стружечных канавок с углом  $\omega = 30...45^\circ$  на цилиндрической поверхности и столько же прямых канавок на торцевой поверхности. Профиль стружечных канавок состоит из двух участков – передней поверхности *A* и спинки (рис. 7.44,д). Спинка у концевых фрез, в отличие от сверл, является частью канавки и образует выпуклую переходную поверхность, которая переходит в заднюю поверхность зубьев.

Вышлифовывание стружечных канавок у метчиков без предварительного фрезерования производят вплоть до номинального диаметра резьбы 16...20 мм. Профиль стружечной канавки у метчиков из быстрорежущей стали состоит из переходного криволинейного участка и передней поверхности *A* (рис. 7.44,б) и вышлифовывается кругом радиусной формы. Профиль канавок у цельных твердосплавных метчиков имеет более простую форму: передняя поверхность *A* и переходная поверхность расположены под углом 90...100° с небольшим переходным радиусом. Шлифование в этом случае производится алмазным кругом прямого профиля.

Высокоскоростное глубинное шлифование проводится на специальных автоматических шлифовальных станках повышенной жесткости со скоростью резания свыше 60 м/с. Мощность главного привода таких станков (табл. 7.8) значительно превышает мощность привода обычных шлифовальных станков, которая, как правило, не превышает 5...10 кВт.

Таблица 7.8

Характеристика специальных станков для вышлифовывания стружечных канавок

Параметр	Станок	
	Gühring HY535Г	Gühring HY535Л
Обрабатываемый инструмент	Метчик M4-M20	Сверло Ø 4...20 мм
Обрабатываемый материал	Быстрорежущая сталь	Быстрорежущая сталь
Диаметр круга, мм	200; 400	400
Скорость круга, м/с	75; 125	125
Скорость продольной подачи, м/мин	0,80...0,95	до 4,0
Мощность привода, кВт	25; 50	50
Масса станка, кг	4400; 4500	4500



Для получения заданного чертежом профиля шлифуемой поверхности необходимо определить соответствующий профиль шлифовального круга. Наиболее простыми являются графоаналитический или расчетный методы, чаще всего применяемые в мелкосерийном производстве. Профиль стружечной канавки представляется в виде комбинации сопряженных кривых или прямых. Более продуктивным является расчет профиля шлифовального круга с помощью компьютерного моделирования. Вводя в компьютер основные параметры изготавливаемого инструмента, задаваемые рабочим чертежом (наружный диаметр, диаметр сердцевины, угол подъема стружечной канавки и др.), получают требуемую форму шлифовального круга, параметры его установки (рис. 7.48).

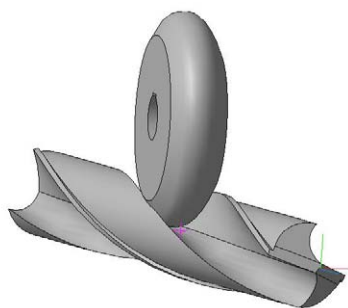


Рис. 7.48. Модели обрабатываемой и инструментальной поверхностей при вышлифовывании стружечной канавки сверла

В последнее время применяют метод определения профиля шлифовального круга путем оптического 3D-сканирования. С помощью сканирующего устройства исследуют форму обрабатываемой поверхности, детализируют ее по координатным осям, затем после компьютерной обработки получают необходимые численные данные для настройки шлифовального станка, требуемые геометрические параметры инструментальной поверхности шлифовального круга и траектории правящего инструмента.

С помощью такого способа можно спроектировать новый инструмент (сверла, фрезы, развертки и пр.), оптимизировать профиль существующего инструмента и сократить технологическую подготовку его производства.

Высокая эффективность операции возможна при отлаженной системе правки профиля рабочей поверхности шлифовального круга и обильной подаче СОТС, как правило, на масляной основе. Станки оснащают специальным устройством для профильной правки круга по копиру или с помощью ЧПУ. Обработка производится в автоматическом цикле, обеспечивающем максимальное сокращение не только основного, но и вспомогательного времени, связанного с загрузкой-выгрузкой заготовок и правкой круга.

По технологической схеме обработки станки подразделяются на одно- и многопозиционные.

Однопозиционные станки могут обрабатывать стружечные канавки и спинки отдельно на двух операциях двумя кругами, заправленными под определенные профили. Один из кругов (канавочный) вышлифовывает стружечную канавку (рис. 7.49), другой (спиночный) – спинку (рис. 7.50). (Этот вариант характерен для шлифовально-заточных станков с ЧПУ.)

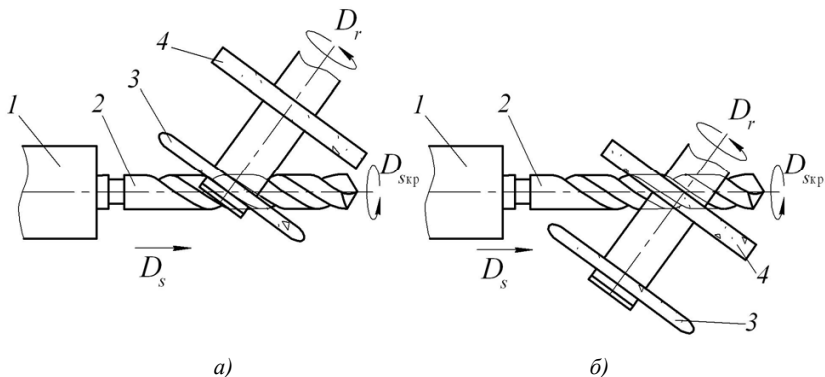


Рис. 7.49. Последовательная схема вышлифовывания канавок и спинок сверла: а) обработка канавки; б) обработка спинки: 1 – цанговый патрон; 2 – заготовка; 3 – канавочный круг; 4 – спиночный круг

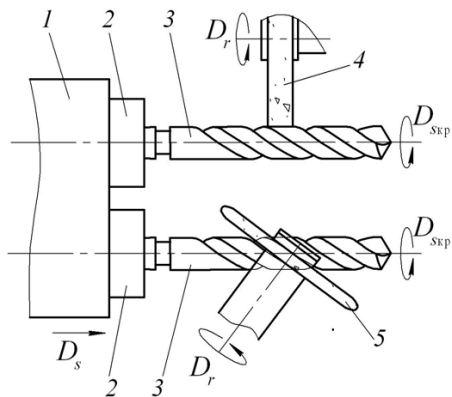


Рис. 7.50. Параллельная схема вышлифовывания канавок и спинок сверла на многопозиционном станке: 1 – револьверная головка; 2 – цанговый патрон; 3 – заготовка; 4 – спиночный круг; 5 – канавочный круг

Возможен более производительный вариант, когда оба круга устанавливаются на единой оправке и обработку стружечных канавок и спинок производят последовательно за одну операцию (рис. 7.49). (Этот вариант характерен для шлифовально-заточных станков с ЧПУ.)

На многопозиционных шлифовальных станках-автоматах (рис. 7.50) на двух позициях производится одновременно вышлифовывание стружечной канавки на первой заготовке и обработка спинки у второй заготовки, а также загрузка-выгрузка заготовок на третьей позиции.

Так как процесс шлифования совмещен с установкой-снятием заготовок, то вспомогательное время операции будет равно нулю (см. формулу табл. 1.10, строка 6).

В табл. 7.9, 7.10 приведены усредненные производственные показатели процесса вышлифовывания стружечных канавок, полученные на основе анализа операций глубинного высокоскоростного шлифования заготовок сверл из стали Р6М5 в инструментальном производстве.

Таблица 7.9

Сравнительные режимы вышлифовывания стружечных канавок

Характеристика круга	Скорость круга, м/с	Продольная подача, м/мин	Шероховатость поверхности Ra, мкм
25A90P6B (25A16HCT26B)	60	0,4...1,27	1,25...0,63
	90	2,5	
24A120P6B (24A10HCT36B)	73	2,0	
	100	0,3...2,3	

Таблица 7.10

Некоторые показатели процесса вышлифовывания стружечных канавок сверл

Размеры сверла, мм		Показатели процесса			
Диаметр	Длина спирали	Число рабочих ходов круга	Число деталей между правками, шт*	Стойкость круга, шт. деталей	Производительность, деталей/час
5	52	1	1	7500	155
10	90	1	1	1700	80
15	115	2	0,5	750	45
20	140	2	0,5	625	30
25	165	3	0,33	250	20
30	165	3	0,33	250	20

\* Правку производят после каждого рабочего хода.

Как видно из табл. 7.9, наблюдается прямая корреляция между скоростью круга и продольной подачей при шлифовании. Чем выше значение  $V_k$  на шлифовальном станке, тем более высокую продольную подачу назначают, исходя из условий постоянства толщины единичного среза, приходящегося на абразивное зерно (см. формулу (6.3)). При шлифовании за два прохода рекомендуется оставлять припуск 0,05 мм на второй рабочий ход. При шлифовании за три прохода общий припуск  $Z$  разделяется в порядке:  $(0,7...0,75)Z + (0,24...0,29)Z + 0,05$  мм.

Вышлифовывание стружечных канавок инструмента из быстрорежущей стали производится электрокорундовыми кругами на керамической или бакелитовой связках. Процесс сопровождается значительным тепловыделением, поэтому в зону обработки направляется СОТС с большим расходом (не менее 10 л/мин на каждый миллиметр ширины шлифовального круга). В качестве жидких СОТС используется специальное масло с активизирующими добавками. Круги сравнительно легко поддаются правке с помощью специальных правящих приспособлений. Периодичность правки зависит от размеров шлифуемого изделия, режима шлифования и характеристики круга. Обычно канавочные шлифовальные круги правят после шлифования 1...8 деталей, а спиночные несколько реже, через 5...12 деталей.

Преимущественное использование при вышлифовывании инструмента из быстрорежущей стали в настоящее время имеют эльборовые круги, обладающие более высокой режущей способностью по сравнению с кругами из электрокорунда. При обработке твердосплавного инструмента применяют алмазные шлифовальные круги. Круги из сверхтвердых материалов обладают большей стойкостью и требуют восстановления необходимого профиля значительно реже по сравнению с кругами из карбида кремния. Круги из СТМ на токопроводящих металлических связках правят методом электрохимической или электроэрозионной обработки.

После вышлифовывания стружечных канавок контролируются толщина сердцевины инструмента, ширина пера, нецентричность сердцевины и ширины ленточки, а также проверяется наличие прижогов и микротрещин на обработанных поверхностях.

В последние годы вместо специальных станков для вышлифовывания стружечных канавок находят широкое применение многофункциональные шлифовально-заточные центры с ЧПУ, обладающие более широкими технологическими возможностями как при шлифо-

вании, так и при заточке (рис. 7.51). Описание работы шлифовально-заточных центров приведено в разделе 7.2.1.

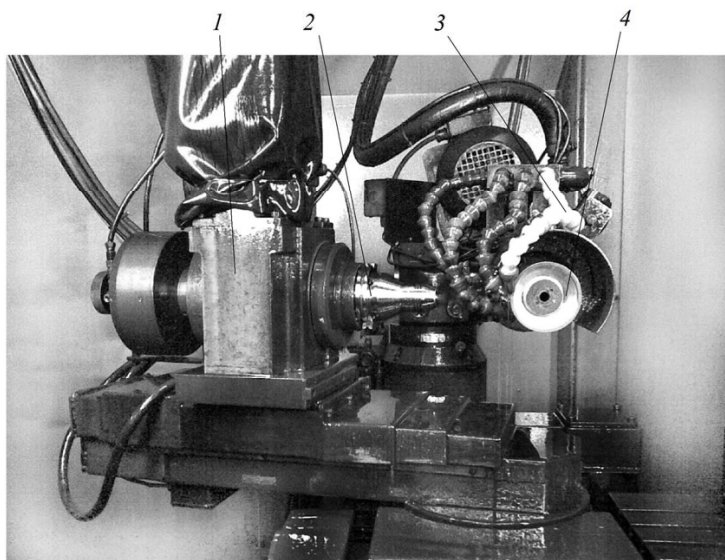


Рис. 7.51. Рабочая зона шлифовально-заточного центра: 1 – передняя бабка; 2 – заготовка; 3 – система сопел для подачи жидкого СОТС; 4 – шлифовальный круг

Для обработки заготовок инструмента каждого типа создается своя управляющая программа. Исходными данными служат размеры инструмента, приведенные на рабочем чертеже. Одновременно учитываются геометрические параметры шлифовальных кругов и заготовки и их предварительная ориентация для начала отсчета координат. После ввода исходных данных производится моделирование процесса шлифования стружечной канавки (спинки, передней поверхности и т. д.) с выводом его результатов на монитор в виде изображения торцового сечения инструмента. Автоматически подбирается наладка и траектория движения шлифовального круга или комплекта кругов относительно заготовки, обеспечивающая выполнение всех введенных параметров.

Создание управляющей программы и порядок программирования в настоящем пособии не предусматриваются, поскольку читатель получил знания основ программирования на предыдущих курсах.

Программное обеспечение станка может быть настроено на изготовление определенного комплекта различных инструментов. Для

этого в состав системы ЧПУ входит база данных, содержащая эталоны этих инструментов со всеми их размерами. Программы обеспечивают возможность шлифования и заточки инструментов разных размеров и геометрии ограниченным набором шлифовальных кругов. С помощью 2D- или 3D-программ моделирования производят визуализацию текущего положения шлифовального круга и заготовки на мониторе в процессе шлифования.

Базовые операции изготовления нового и заточки изношенного инструмента обеспечивают возможный набор последовательных переходов операции, например:

- для концевых фрез – вышлифовывание канавок, затылование, заточка переднего угла на цилиндрической поверхности, заточка переднего и заднего углов на торцевой поверхности;
- для спиральных сверл – вышлифовывание канавок, шлифование спинки, занижение по наружному диаметру, заточка задних углов;
- для метчиков – вышлифовывание стружечных канавок;
- для разверток и зенкеров – вышлифовывание стружечных канавок, затылование, заточка переднего угла.

Шлифовально-заточные центры оснащаются измерительной системой, обеспечивающей измерение параметров инструмента (вершины инструмента, стружечной канавки, ее шага и наклона, величины переднего угла и др.), а также осевую и угловую привязку заготовки к станочной системе координат при наладке операции. Измерительная система может проводить также контроль параметров уже изготовленного инструмента с визуализацией информации на мониторе.

Технологические возможности таких станков значительно расширяются за счет установки на единой оправке двух-трех шлифовальных кругов (рис. 7.49). Круги по команде управляющей программы участвуют в последовательном процессе обработки с учетом их формы и расположения на оправке.

В целом применение специальных шлифовальных станков-автоматов позволяет путем высокоскоростного глубинного шлифования обеспечить наиболее высокую производительность обработки осевого инструмента любой длины. Для исключения прогиба шлифуемой рабочей части инструмента шлифование производится с помощью неподвижных люнетов или направляющих втулок. Однако применение таких станков эффективно в условиях серийного и крупносерийного производства инструмента из-за сложности их переналадки.

Этого недостатка лишены шлифовально-заточные центры с ЧПУ, обладающие более широкими технологическими возможностями и способностью обрабатывать широкий спектр поверхностей за один установ.

Уступая станкам-автоматам в производительности обработки, шлифовально-заточные центры весьма эффективны при изготовлении сложнопрофильного, многолезвийного инструмента как из быстрорежущей стали, так и твердого сплава.

Применение шлифовально-заточных центров резко повышает гибкость производства режущего инструмента широкой номенклатуры в условиях даже относительно небольшого машиностроительного предприятия.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какую технологическую операцию механической обработки назначают первой после операций основной термической обработки?
2. Какие особенности имеют операции профильного шлифования по сравнению со шлифованием плоских поверхностей?
3. С какой целью применяют технологические корпуса при изготовлении сборного инструмента?
4. Каково основное назначение заточки инструмента?
5. Какие движения необходимо придать заготовке сверла при винтовой и конусной заточке задних поверхностей?
6. Как обеспечить необходимую величину заднего и переднего углов при заточке дисковой фрезы?
7. Как обеспечить плоскостность передней поверхности при заточке червячной фрезы с винтовыми стружечными канавками?
8. Какая форма рабочей поверхности шлифовального круга должна быть при заточке по передней поверхности круглой протяжки с положительным передним углом?
9. Как обеспечить положительные значения вспомогательных углов на боковых поверхностях шлицевой протяжки?
10. По какой поверхности производят заточку прямозубого долбяка?
11. Перечислить основные преимущества применения шлифовально-заточных станков с ЧПУ.
12. Показать направления управляемых осей при шлифовании и заточке поверхностей режущей части концевой фрезы.

## Глава 8. МОДИФИКАЦИЯ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИНСТРУМЕНТА

---

### 8.1. Классификация основных методов повышения стойкости инструмента

Одна из главных задач инструментального производства – изготовить режущий инструмент, который имеет высокую износостойкость в процессе эксплуатации. Решение этой задачи обеспечивается за счет – повышения физико-механических свойств материала рабочей части инструмента;

- оптимизации конструкции рабочей части инструмента;
- оптимизации структуры материала в процессе операции основной термической обработки;
- снижения вероятности структурно-фазовых изменений в поверхностном слое материала рабочей части инструмента после операций шлифования и заточки;
- получения минимальной шероховатости рабочих поверхностей на операциях окончательного шлифования и заточки.

Кроме того, в современном инструментальном производстве применяют широкий спектр технологий, обеспечивающих дополнительное повышение стойкости инструмента за счет модификации его рабочих поверхностей [1; 2; 4; 15; 16; 23]. Эти технологии существенно отличаются друг от друга по технологическим признакам, энергетическому воздействию, рабочим средам и т. д. Общим для них является создание между рабочей поверхностью инструмента и обрабатываемым материалом промежуточной технологической среды, содержащей азот, алюминий, бор, титан, углерод, реже – цирконий, хром, молибден и др. в различных сочетаниях, преимущественно в виде химических соединений (оксидов, нитридов, карбидов, боридов).

По характеру воздействия на рабочую поверхность (РП) и поверхностный слой (ПС) технологии модификации можно разделить на две основные группы (рис. 8.1):

1) технологии, обеспечивающие управляемое изменение свойств поверхностного слоя рабочих поверхностей инструмента;

2) технологии, создающие защитные износостойкие покрытия на рабочей поверхности инструмента. Как правило, модификацию поверхностного слоя производят либо в процессе основной термичес-



кой обработки, или после выполнения окончательных операций шлифования и заточки готового инструмента.



Рис. 8.1. Основные методы модификации рабочих поверхностей инструмента

В результате применения инструментов, прошедших модификацию рабочих поверхностей и обладающих повышенным периодом стойкости, улучшается качество обработанных поверхностей и экономичность операций изготовления деталей машин.

## 8.2. Изменение свойств поверхностного слоя инструмента

### 8.2.1. Химико-термическая обработка

Методы химико-термической обработки (ХТО) основаны на комбинированном тепловом и химическом воздействии на металл, обеспечивающем управляемое изменение физико-механических и физико-химических свойств поверхностного слоя изделия (микротвердости, теплостойкости, адгезионной активности, усталостной прочности и т. п.). Источниками диффундирующих в инструментальный материал элементов являются газы, жидкости и твердые материалы. При ХТО производят диффузионное насыщение поверхностного слоя металлов азотом, углеродом, а также бором, хромом, алюминием, молибденом,

серой, фосфором и др. Глубина насыщенного слоя зависит от температуры, времени насыщения и концентрации диффундирующего элемента.

*Азотирование* – насыщение поверхностного слоя инструмента азотом. Проводят газовое, жидкостное и ионное азотирование.

В процессе *газового* азотирования тщательно очищенный инструмент укладывается в герметично закрываемую печь, через которую в течение нескольких часов пропускается смесь азота и аммиака при температуре 510...520°С. В результате этого поверхностный слой инструмента насыщается азотом, образующим твердые растворы нитридов на глубину 2...10 мкм, и приобретает повышенную твердость. С увеличением времени выдержки инструмента в печи толщина азотированного слоя возрастает, но при этом снижается прочность инструментального материала.

*Жидкое* азотирование производится путем диффузионного насыщения поверхностного слоя инструмента в растворе солей при температуре 500...550°С.

Наиболее эффективной технологией является *ионно-плазменное* азотирование, производимое в плазме тлеющего разряда. Насыщение поверхностного слоя металла инструмента ионами азота (а не атомами, как при других методах азотирования) происходит в среде аммиака или азота в условиях сильной ионизации газа за счет создания электрического потенциала напряжением 400...1000 В. Инструмент подсоединяют к катоду, а корпус рабочей камеры служит анодом. Если инструмент имеет сложную форму, то изготавливают специальный профилированный анод. Между электродами возбуждают тлеющий разряд, при этом ионы азотсодержащего газа бомбардируют катод и нагревают его до температуры насыщения азотом. Продолжительность операции примерно 1...1,5 часа. Толщина легированного азотом слоя составляет 10...80 мкм, а твердость достигает HRC 70.

Интенсификация процесса азотирования в плазме тлеющего разряда по сравнению с газовым азотированием объясняется тем, что энергия иона в плазме тлеющего разряда в несколько раз превосходит энергию атома азота в диссоциированном аммиаке в условиях обычного газового азотирования.

Азотирование применяется для повышения твердости, износостойкости, задиристости, сопротивления кавитации, усталости, теплостойкости и коррозионной стойкости изделий из сталей и сплавов. Этим методом могут обрабатываться любые стали: коррозионностойкие, жаропрочные, инструментальные, а также различные

сплавы и чугуны. Технологии азотирования используются широким кругом отраслей промышленности, от авиакосмической и нефтегазодобывающей до медицинской и пищевой, в том числе машиностроением и инструментальным производством.

Азотированию подвергают сверла, развертки, зенкеры, метчики, зубья дисковых пил. Азотированный инструмент рекомендуется применять для обработки чугуна, пластмасс, стеклопластиков и других композиционных материалов.

Азотированный поверхностный слой, обладая высокой твердостью, имеет недостаток – повышенную хрупкость. Для ее снижения применяют технологии азотирования в комбинированной среде, содержащей азот и углерод. Углерод уменьшает долю азота в поверхностном слое и обеспечивает лучшие эксплуатационные свойства готового изделия. К таким технологиям относят цианирование, карбонитрирование, нитроцементацию, различие которых заключается условием проведения операции.

Цианирование быстрорежущих сталей проводят в основном в расплавленных цианистых или циановокислых солях, например  $\text{NaCN}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{CaCN}$  и др., при температуре отпуска быстрорежущего инструмента ( $510\text{...}520^\circ\text{C}$ ). Цианирование осуществляют в электрических печах, печах-ваннах или в газовых печах в железных тиглях.

В зависимости от состава ванн и выдержки глубина цианированного слоя повышенной твердости (до HRC 70) составляет  $2\text{...}20$  мкм. По сравнению с инструментальным материалом слой, насыщенный азотом и углеродом, имеет более высокую твердость, меньшие коэффициент трения и склонность к адгезионному схватыванию с обрабатываемыми сталями, что обеспечивает повышение периода стойкости инструмента.

Цианировать рекомендуется инструмент, изнашивающийся по задней поверхности (долбяки, червячные фрезы, фасонные резцы, протяжки), а также сверла, метчики, развертки. Инструмент, имеющий наружный диаметр до 5 мм и мелкогабаритный профиль, цианировать не рекомендуется в связи с повышенной хрупкостью режущих кромок после ХТО.

Цианистые соли являются сильными ядами и требуют специальных мер предосторожности в работе, поэтому жидкостное цианирование осуществляется в специальных изолированных помещениях с мощной вытяжной вентиляцией. После цианирования заготовки промывают в растворе железного купороса, а затем в проточной воде.

*Нитроцементация* (карбонитрирование) – один из наиболее распространенных методов насыщения поверхностного слоя быстрорежущих и легированных сталей азотом и углеродом, который проводят в газообразных и жидких средах.

Процесс нитроцементации *в жидких смесях* заключается в насыщении поверхностного слоя азотом и углеродом в результате разложения жидкого ионизатора – триэтанолamina ( $C_5H_5O$ )<sub>3</sub>N – или насыщающей среды, содержащей карбюризатор и аммиак, при нагреве в электропечах. В качестве карбюризатора применяют керосин, масло, природный газ.

Подготовка инструмента к нитроцементации, как и к другим методам ХТО, заключается в его тщательной очистке и обезжиривании. После этого инструмент загружают в электропечь, предварительно нагретую до температуры предшествующего отпуска материала (550...560° С для быстрорежущих сталей), и подают в печь насыщающую среду. Продолжительность выдержки зависит от размеров и вида инструмента и составляет от 0,5 до 2,0 часа. За это время глубина диффузионного слоя, имеющего повышенную твердость и износостойкость, доходит до 3...8 мкм при содержании в нем углерода 0,96...1,2% и азота 0,15...0,30%.

Наиболее удобно применение методов ХТО в жидких средах для обработки сварного инструмента осевого типа, когда упрочнение можно обеспечить только на рабочей части, исключив нагрев хвостовика из конструкционной стали.

*Диффузионное хромирование* – насыщение поверхностного слоя металла хромом и его соединениями для повышения износостойкости и коррозионной стойкости инструмента. *Сульфидирование* – насыщение поверхностного слоя металла серой. Образовавшееся на поверхности инструмента сернистое соединение обеспечивает самосмазывающую способность поверхности в процессе сухого трения, что приводит, например, к снижению силы трения стружки о переднюю поверхность инструмента. Разновидностью этого метода является *сульфоцианирование* – насыщение поверхностного слоя металла одновременно азотом, углеродом и серой. *Борирование* применяют для насыщения поверхностного слоя металла бором из соединений  $Fe_2B$  и  $FeB$ , которое обеспечивает повышение износостойкости и теплостойкости поверхности. Борирование применяют для модифицирования изделий, работающих в условиях сильного трения: режущего инструмента из быстрорежущих сталей, штампового инструмента, пресс-форм, накатного инструмента и т. д.

### 8.2.2. Электрохимическая и химическая обработка

*Электрохимическое полирование* (ЭП) основано на принципе электролиза и является достаточно эффективной и простой технологией повышения стойкости режущего и штампового инструмента за счет удаления с его поверхности дефектного слоя, образованного на операциях шлифования и заточки. Одновременно с этим ЭП снижает шероховатость поверхности.

Для электрополирования готовый режущий инструмент из инструментальной и быстрорежущей стали укладывают на медную сетку установки, подключенную к положительному полюсу источника постоянного тока, и погружают в электролитическую ванну, через которую пропускают ток при напряжении 8...36 В. После завершения процесса ЭП (анодного растворения металла с поверхности инструмента) заготовку охлаждают и промывают от остатков электролита.

Технология ЭП позволяет повысить стойкость режущего инструмента из быстрорежущей стали на 30...70%.

*Фосфатирование* – процесс химического нанесения фосфатной пленки на поверхность протяжек, фрез, долбяков, фасонных резцов, сверл и другого инструмента для защиты от коррозии и повышения износостойкости.

Тщательно очищенный и обезжиренный инструмент помещают в ванну, содержащую, например, раствор  $Zn(H_2PO_3)_2$ ,  $Zn(NO_3)_2$  и  $H_3PO_4$  и др., и выдерживают при температуре 50...60° С в течение 20 минут. В результате фосфатирования на поверхности детали образуется плотная пленка серо-черного цвета, обладающая антикоррозионными свойствами и обеспечивающая инструменту хороший товарный вид.

Операцию *оксидирования* производят путем нагрева инструмента из быстрорежущей стали до температуры 400...500° С в расплаве солей  $NaNO_3$  и  $KNO_2$ , а также в воздушной окислительной среде при температуре 220°С или в среде перегретого пара при температуре 300...350°С.

В результате оксидирования на поверхности инструмента образуется оксидная пленка серо-черного цвета, которая обладает высокими антикоррозионными свойствами и придает инструменту хороший товарный вид.

### 8.2.3. Модификация методами физико-технической и термической обработки

*Электроискровое легирование* (ЭИЛ) основано на принципе электроэрозионной обработки, но с обратным подключением полюсов электродов. Физическая сущность процесса ЭИЛ состоит в электрической эрозии анода, изготовленного из легирующего материала, и переносе этого материала на рабочую поверхность инструмента искровым разрядом в воздушной среде.

При эквидистантном перемещении электрода относительно рабочей поверхности инструмента с определенным зазором на этой поверхности формируется слой из материала электрода толщиной до 100 мкм, диффузионно связанный с инструментальным материалом. Степень повышения микротвердости поверхностного слоя после ЭИЛ зависит от материала электрода и прошедших при электрических разрядах структурных и фазовых превращений металла.

Положительной особенностью ЭИЛ является возможность нанесения покрытия на рабочие поверхности инструмента после каждой его заточки без специальной очистки этих поверхностей. Метод применяется для обработки режущих инструментов (сверл, резцов, фрез), не требующих высокой размерной точности, а также для упрочнения деталей штампов. Недостатком процесса ЭИЛ является некоторое ухудшение шероховатости обработанной поверхности.

*Ионная имплантация* – облучение материала ионами металлов и неметаллов с энергиями выше пороговых – обладает широкими возможностями для модификации свойств и эксплуатационных характеристик инструмента. Метод ионной имплантации основан на внедрении в твердое тело ионизированных атомов, ускоренных в электрическом поле. Эффект повышения износостойкости за счет имплантации связан с появлением комплекса изменений в обработанном материале, в частности, изменением его химического состава, повышением микротвердости и теплостойкости поверхностного слоя. Для инструментального производства применяется метод прямой имплантации, реализуемый в плазме тлеющего разряда с помощью ионно-плазменных установок.

Процесс проводится при относительно низких температурах, поэтому позволяет упрочнять инструмент как из твердых сплавов, так и из любых быстрорежущих и легированных сталей. Для твердого сплава более эффективным является использование в качестве легирующих элементов тантала, циркония, кобальта, углерода, алю-

миния, а для быстрорежущих сталей — азота, углерода, титана, вольфрама и кобальта.

При ионной имплантации соответствующим подбором легирующих элементов и режима процесса можно обеспечить получение требуемых эксплуатационных свойств поверхностного слоя инструмента, например, повысить износостойкость, твердость, фрикционные свойства, сопротивление коррозии, усталости поверхностного слоя и т. п.

Ионная имплантация позволяет существенно повысить сопротивление инструментального материала усталости при рабочих температурах резания (чего не может обеспечить ни один из видов защитных покрытий), а также увеличить циклическую долговечность материала.

В поверхностном слое отсутствует резкий переход от имплантированного слоя к основному металлу, поэтому инструмент, упрочненный методом ионной имплантации, может сохранять повышенные свойства даже после нескольких последующих заточек.

*Лазерные и плазменные технологии* применяют для поверхностной термообработки инструмента и деталей машин путем воздействия высококонцентрированным потоком тепловой энергии на их поверхность.

К методам поверхностной *лазерной обработки* относятся лазерная закалка, легирование, наплавка, а также маркировка готового инструмента. Для этого применяют твердотельные лазеры с активным элементом из кристаллов иттрий-алюминиевого граната и лазеры с газовой ( $\text{CO}_2$ ) накачкой. Однако наиболее технологичными являются волоконные лазеры, обладающие самым высоким коэффициентом полезного действия из всех лазеров, применяемых для обработки материалов.

Лазерная обработка является эффективным методом формирования микро- и субмикроструктурной мартенситной структуры в поверхностных слоях сталей и заключается в высокоскоростном нагреве материала лучом лазера и охлаждении поверхностных слоев со скоростью, значительно превышающей критическую скорость закалки. Такая технология способна формировать в сталях поверхностные слои, обладающие уникальными физико-механическими свойствами.

Лазерному упрочнению эффективно подвергаются углеродистые и легированные стали У7, У10, ХВГ, 9ХС, 9ХМФ, Х12, Х12Ф, ШХ15 и др., а также быстрорежущие стали и твердые сплавы.

Из всех известных видов высококонцентрированных источников энергии только лазерное излучение обеспечивает плотность мощности в зоне обработки при атмосферных условиях более  $10^6$  Вт/см<sup>2</sup>, что изменяет физический механизм взаимодействия энергетических по-

токов с обрабатываемым материалом. Кроме того, при определенных условиях в поверхностном слое материала формируются остаточные напряжения сжатия, что оказывает положительное воздействие на усталостную прочность и износостойкость режущего инструмента.

Критическим режимом лазерного упрочнения считается такой, при котором излучение не приводит к нарушению шероховатости поверхности, а глубина упрочненного слоя имеет максимальное значение

$$h \cong \sqrt{a\tau}, \quad (8.1)$$

где  $a$  – коэффициент температуропроводности,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $\tau$  – длительность импульса лазерного воздействия, с.

При превышении этого режима воздействие концентрированным потоком тепловой энергии может привести к сглаживанию микронеровностей, залечиванию микротрещин и царапин на рабочей поверхности изделия.

Лазерные технологии особенно эффективны в комплексе с химико-термической или электроискровой обработкой материалов. Так, дополнительная лазерная обработка материалов, прошедших предварительную ХТО (цианирование, нитроцементацию, борирование и др.), позволяет существенно повысить механические свойства поверхностного слоя изделия, уменьшить его хрупкость и обеспечить плотную равномерную структуру. Энергия лазерного излучения способна легировать поверхностный слой инструментального материала на глубину до десятых долей миллиметра. Располагаясь между атомами основы, легирующие атомы деформируют кристаллическую решетку инструментального материала, создавая в приповерхностном слое сжимающие напряжения, повышая предел долговременной прочности материала. Примесные атомы легирующего элемента становятся препятствием для движения дислокаций, что приводит к возрастанию таких физико-механических характеристик инструментального материала, как предел прочности и предел текучести.

Лазерная технология позволяет совместить в одном ТП получение композиционного материала покрытия и его термообработку. Например, с помощью лазерной наплавки на поверхность инструмента из углеродистой стали может быть нанесено покрытие из быстрорежущей стали толщиной до 1 мм. В зависимости от назначения инструмента или его износа, произошедшего в результате эксплуатации, возможна наплавка порошком из быстрорежущей стали в несколько слоев общей толщиной до 8...10 мм.



Технологии обработки *импульсной высокотемпературной плазмой* применяют для поверхностного упрочнения и закалки широкого класса металлов, в том числе быстрорежущей стали. Для реализации плазменных технологий применяют специальные установки, разработанные на основе импульсных и квазистационарных электродинамических ускорителей плазмы. Установки для обработки импульсными потоками высокотемпературной плазмы пока еще меньше распространены, чем лазеры.

*Электронно-лучевая обработка.* В отличие от ионной имплантации, основанной на энергетическом воздействии на материал потоком ионов, этот метод основан на применении импульсного сильноточного пучка электронов в присутствии вакуумно-дугового испарителя. Вакуумно-дуговой испаритель обеспечивает процесс легирования поверхностного слоя металла материалом с необходимыми физико-механическими свойствами.

Обрабатываемые изделия помещают в вакуумную камеру, в которую напускается рабочий газ аргон. Источник с плазменным катодом генерирует импульсный пучок электронов. При облучении инструментального материала этим электронным пучком за счет высоких температур, достигающих температуры плавления материала, происходит сглаживание (полирование) микронеровностей на его поверхностях. В связи с кратковременностью теплового импульса прогрев материала изделия происходит на относительно малую глубину, а из-за высокой скорости охлаждения в поверхностном слое формируется однородная субмикроструктурная структура. Причем, если на облучаемую поверхность предварительно нанести покрытие из определенного металла, то под действием облучения происходит сплавление покрытия с основой, и в поверхностном слое изделия образуется слой, легированный материалом покрытия. Эту операцию можно повторять, формируя за счет последовательного сплавления легированный поверхностный слой толщиной более 50 мкм.

### **8.3. Нанесение износостойких покрытий на поверхности инструмента**

#### **8.3.1. Разновидности методов нанесения износостойких покрытий**

В мировой практике металлообработки из всех методов дополнительного повышения периода стойкости инструмента наибольшее

распространение получили наукоемкие технологии нанесения износостойких покрытий путем испарения и конденсации в вакууме или химического воздействия вещества на поверхность инструментального материала. Абсолютное большинство твердосплавных неперетачиваемых пластин, выпускаемых ведущими мировыми производителями инструмента, изготавливаются с износостойкими покрытиями. Современный сборный режущий инструмент – резцы, фрезы, плоские протяжки, сверла и др. – оснащают многогранными неперетачиваемыми пластинами с заранее нанесенными износостойкими покрытиями. Кроме того, в условиях инструментальных цехов и производств машиностроительных предприятий наносят износостойкие покрытия на изготовленный цельный или составной инструмент.

Многочисленные разновидности технологических установок для нанесения покрытий выпускаются в экспериментальном и промышленном вариантах как отечественными, так и зарубежными фирмами.

Из всех применяемых технологий модификации рабочих поверхностей инструмента более 50% приходится на методы химического осаждения покрытий из газовой фазы – Chemical Vapour Deposition (*CVD*) и физического осаждения покрытий в вакууме – Physical Vapour Deposition (*PVD*).

Играя роль промежуточной технологической среды между инструментальным и обрабатываемым металлами, материал покрытия должен:

- иметь твердость выше твердости инструментального материала;
- иметь низкую склонность к адгезии с обрабатываемым материалом;
- иметь минимальную способность к диффузии в обрабатываемый материал;
- сохранять свои физико-механические и физико-химические свойства при высокой температуре.

Несмотря на различие воздействия на обрабатываемый инструмент, методы *PVD* и *CVD* в равной степени требуют тщательной подготовки поверхностей, на которые наносится износостойкое покрытие. Поверхности инструмента не должны иметь следов прижогов, коррозии, окалины, заусенцев и пр. Их шероховатость должна быть не менее Ra 0,32 мкм. Для повышения адгезионных свойств поверхности путем создания равномерного микрорельефа рекомендуется проводить пескоструйную обработку абразивным микропорошком (микробластинг). Перед нанесением покрытия инструмент тщательно обезжиривают и промывают спиртом высокой очистки.

Перед повторным нанесением износостойкого покрытия на изношенный инструмент его подвергают заточке и тщательному удалению остатков прежнего покрытия.

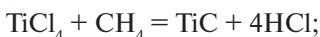
### 8.3.2. Методы химического осаждения покрытий

Методы *химического осаждения покрытий (CVD)* начиная с 1970-х годов получили широкое распространение при нанесении покрытий на основе карбидов, нитридов, карбонитридов, а также окиси алюминия на многогранные неперетачиваемые твердосплавные пластины. На основе этих методов разработаны технологии, применяемые известными фирмами – производителями твердосплавных инструментов, в том числе Sandvik Coromant (Швеция), Kennametal Hertel (США), Plansee AG (Австрия), Vidia Krupp (Германия), Ssang Young (Корея) и др., а также рядом научных организаций и предприятий России, в том числе МГТУ Станкин, РНЦ «Курчатовский институт», ЗАО «Инакотек» ИМАШ РАН (г. Москва); Институтом сильноточной электроники СО РАН (Томск) и др.

Принципиальной основой получения покрытий на инструментах методом *CVD* являются химические реакции в парогазовой среде, окружающей инструмент. В качестве исходных продуктов материала покрытий используют газообразные галогениды. (Галогениды – группа химических соединений, являющихся производными галоидоводородных кислот HF, HCl, HBr и HI, например,  $TiCl_4$ .) В результате их взаимодействия с другими составляющими смесей (водородом, аммиаком, окисью углерода) образуются и конденсируются на инструментах покрытия, состоящие из нитридов или карбидов металлов, обладающие необходимым комплексом физико-механических и физико-технических свойств.

На рис. 8.2 показана принципиальная схема [2] технологии получения износостойких покрытий газофазным способом при температуре около  $1000^\circ C$  и повышенном давлении по следующим реакциям:

- образование карбидов



- образование нитридов



- образование карбонитридов



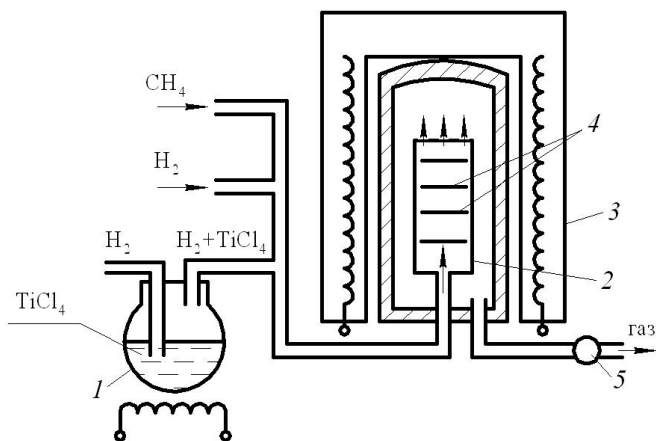


Рис. 8.2. Принципиальная схема установки для реализации метода ХОП:  
 1 – газосмеситель; 2 – реактор; 3 – печь для нанесения покрытий;  
 4 – покрываемые инструменты; 5 – устройство для удаления отходов реакции

Отличительной особенностью покрытий, полученных методами *CVD*, является наличие переходной зоны между покрытием и твердым сплавом.

Так как методы *CVD* реализуются при высоких температурах (около  $1000...1100^\circ\text{C}$ ), то это исключает их использование для нанесения покрытий на инструменты из быстрорежущей стали, подвергнутые полной термической обработке, а также инструменты с напайными твердосплавными пластинами. Методы *CVD* применяют для нанесения покрытий на твердосплавных пластинах или монокристаллических инструментах.

Твердосплавные инструменты, прошедшие обработку *CVD*, обладают повышенной износостойкостью, теплостойкостью, твердостью и механической прочностью, а также устойчивостью к образованию термотрещин на режущих пластинах при резании с применением смазочно-охлаждающей жидкости.

### 8.3.3. Методы физического осаждения покрытий

Методы *физического осаждения покрытий (PVD)* основаны на вакуумном испарении тугоплавкого металла, образующего материал покрытия, затем его ионизации, подачи реакционного газа ( $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и др.) и последующей конденсации покрытия на рабочих поверх-

ностях режущего инструмента в условиях химических и плазмохимических реакций в температурном интервале 350...800° С.

Основные методы *PVD* реализуются путем:

- конденсации материала покрытия из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхности инструмента (метод КИБ);
- возбуждения плазменного потока с помощью электронного пучка. Плазма ускоряется электрическим полем в вакууме (метод РЭП);
- магнетронно-ионного распыления, когда в качестве катода используется мишень, подключенная к отрицательному катоду установки. Испарение вещества происходит под воздействием магнитного поля (метод МИР).

Наибольшее распространение получили ионно-плазменные покрытия, наносимые методом КИБ, который основан на генерации вещества катодным пятном вакуумной дуги сильноточного низковольтного разряда. Подача в вакуумное пространство реакционных газов (азота, метана и др.) в условиях ионной бомбардировки приводит к конденсации материала покрытия на поверхности инструмента за счет плазмохимических реакций.

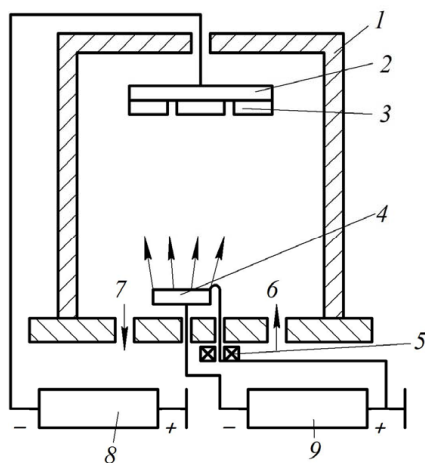


Рис. 8.3. Принципиальная схема вакуумно-плазменной установки:

- 1 – корпус вакуум-камеры (анод); 2 – держатель инструмента; 3 – режущие инструменты; 4 – катод-испаритель из металла, образующего покрытие; 5 – электромагниты; 6 – подача реакционного газа; 7 – откачка газа вакуумным насосом; 8 – источник питания для подачи отрицательного потенциала к инструментам; 9 – источник питания дуги

Все процессы испарения, образования соединений, ионной бомбардировки и конденсации покрытия происходят в вакуумной камере, металлический корпус которой служит анодом. Катод изготавливают из тугоплавкого металла, подлежащего испарению (рис. 8.3).

В некоторых случаях инструменты из твердых сплавов с ионно-плазменными покрытиями имеют преимущества перед инструментами с покрытиями, нанесенными другими методами. Это особенно относится к малоразмерным монокристаллическим твердосплавным инструментам, имеющим пониженную прочность (сверла, концевые фрезы и т. д.), а также к пластинкам из безвольфрамовых твердых сплавов. Практически неприемлемы методы *CVD* для нанесения покрытий на паяный режущий инструмент из-за высокой температуры, приводящей к разрушению припоя.

Возможность широкого варьирования температурой в зонах нанесения покрытия позволяет использовать ионно-плазменные методы в качестве универсальных методов для нанесения покрытий на инструменты из твердых сплавов и быстрорежущей стали. Методы *PVD* дают возможность получения широкой гаммы однослойных и многослойных покрытий на базе нитридных, карбидных, карбонитридных, оксидных, боридных соединений тугоплавких металлов IV–VI групп периодической системы элементов, а также оксида алюминия.

Недостатком покрытий, получаемых методом *PVD*, является относительно слабая адгезия между покрытием и инструментальным материалом из-за отсутствия переходной зоны (рис. 8.4).

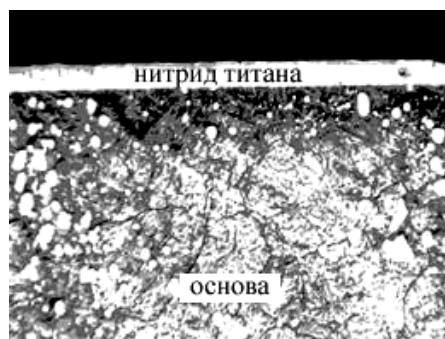


Рис. 8.4. Микроструктура поверхностного слоя (покрытие TiN на быстрорежущей стали), полученного ионно-плазменным методом PVD

Методы *PVD* получили наибольшее распространение в промышленности для нанесения покрытий на многогранные неперегачиваемые твердосплавные пластины. Метод широко используют также для нанесения покрытий на различные типы инструментов из быстрорежущих сталей, твердых сплавов в условиях специализированных участков инструментальных цехов.

#### 8.4. Эффективность применения инструментов с модифицированными рабочими поверхностями

Известно [2; 3; 23], что изнашивание режущего инструмента носит комплексный характер (рис. 8.5) и полный износ включает в себя различные виды износа.

Во-первых, под действием твердых частиц обрабатываемого материала происходит механическое истирание рабочих поверхностей инструмента – механический или абразивный износ. В большинстве случаев этот вид износа является преобладающим.

Однако абразивный износ не дает полной картины происходящего в зоне контакта рабочих поверхностей инструмента со стружкой, с обрабатываемой и обработанной поверхностями заготовки. Кроме абразивного износа существенную роль играет адгезионный износ, заключающийся в образовании и последующем разрушении металлических связей при трении двух контактирующих тел. Установлено, что адгезионный износ наиболее активно проявляется при большом химическом сродстве материалов инструмента и заготовки, имеющих одинаковую кристаллическую решетку.

При повышении контактных температур в зоне обработки свыше 900...950° С резко активизируется диффузионный износ, возникающий из-за диффузии инструментального материала (вольфрама, углерода, кобальта) в стружку. Высокие температуры и давление в зоне обработки инициируют проявление окислительного вида износа. Проявление окислительного износа связано с «угоранием» частиц режущего лезвия инструмента, находящегося в контактной зоне. Поэ-



Рис. 8.5. Обобщенная зависимость полного износа от скорости резания: 1 – адгезионный износ; 2 – абразивный износ; 3 – диффузионный износ; 4 – окислительный износ

тому этот вид износа возникает при температурах свыше 700...800° С и для инструмента из быстрорежущей стали он не характерен.

Материал покрытия или легированный поверхностный слой, обладая значительной термодинамической устойчивостью и сопротивляемостью к окислению, особенно при высоких (более 600° С) температурах, способствует снижению окислительного вида износа. Материал износостойкого покрытия, являясь технологической средой между инструментальным и обрабатываемым материалами, исключает их химическое сродство, изменяет фрикционные и кристаллохимические связи и снижает адгезионный износ. Уменьшение трения между инструментальным и обрабатываемым материалами снижает силы и контактные температуры в процессе резания. При этом модификация рабочей поверхности или поверхностного слоя повышает твердость, теплостойкость и прочность инструментального материала.

Покрытия оказывают влияние на основные параметры процесса резания. Это сказывается в первую очередь на наростообразовании и уменьшении длины контакта между стружкой и передней поверхностью инструмента. Происходит уменьшение диапазона скорости резания, при которой формируется нарост. По данным [3], при варьировании материалом покрытия и геометрическими параметрами режущего инструмента можно полностью исключить процесс наростообразования.

В целом износостойкие покрытия повышают сопротивляемость инструмента абразивному, адгезионному, окислительному и диффузионному изнашиванию. При малых скоростях резания, особенно на черновых операциях, эффект положительного действия износостойких покрытий отмечается в меньшей степени, так как преобладающими в этом случае являются усталостный износ и хрупкое разрушение.

На износостойкость инструмента значимое влияние оказывает толщина покрытия. Как правило, это влияние носит экстремальный характер и зависит от условий эксплуатации инструмента и его геометрических параметров. Толстые (до 14 мкм) покрытия более эффективно работают при высоких скоростях резания, когда интенсифицируются окислительный и диффузионный виды износа. Относительно тонкие (2...5 мкм) покрытия обладают более плотной структурой и эффективно работают при тонких сечениях срезаемого слоя, в том числе при знакопеременных нагрузках. Как правило, толщина покрытия на поверхностях инструментов составляет величину в 2...7 мкм.

На рис. 8.6 приведены экспериментальные зависимости износа зубьев червячных фрез из стали Р6М5 по задней поверхности от времени



обработки и материала покрытия толщиной 3...5 мкм, нанесенного методом вакуумной ионно-плазменной обработки. Испытания выполнены в производстве ОАО «АВТОВАЗ» при обработке заготовок шестерен из стали 20ХГНМ (НВ 150...155) со скоростью резания 88 м/мин. Критерием стойкости инструмента служило образование фаски износа, не превышающей 0,3 мм, на задней поверхности зуба червячной фрезы.

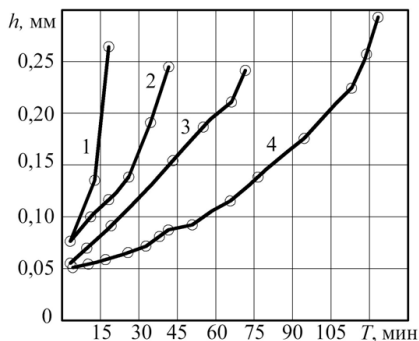


Рис. 8.6. Зависимость износа зуба фрезы от времени обработки: 1 – без покрытия; 2 – покрытие TiN; 3 – покрытие TiCN; 4 – покрытие TiAlN

Из рис. 8.6 следует, что каждый вид покрытия повышает стойкость инструмента в разной степени. Наиболее эффективным оказалось покрытие TiAlN, обеспечивающее в 2,5...3,0 раза превышающую стойкость по сравнению с однослойным покрытием из TiN и в 5...7 раз более высокую, чем при обработке фрезой без покрытия.

Выбор состава износостойкого покрытия является достаточно сложной многофакторной задачей. Материал покрытия назначают [2; 3; 19], исходя из условий обработки, конструкции инструмента и марки обрабатываемого материала. Каждый состав покрытия имеет свои положительные особенности, проявляющиеся в тех или иных условиях процесса резания.

Для оксида алюминия  $Al_2O_3$  характерны высокая износостойкость при скоростном резании и сохранение твердости основы при высокой температуре, благодаря высокой теплостойкости (1400° С) и устойчивости к диффузионному и окислительному видам износа.

Карбид титана TiC способствует высокой износостойкости инструмента при средних и низких скоростях резания и обеспечивает надежный контакт покрытия с твердосплавной основой.

Титано-алюминиевый нитрид TiAlN обеспечивает высокую стойкость инструмента при скоростном резании за счет повышения теплостойкости и износостойкости и относительно высокую стойкость при черновой обработке и прерывистом резании труднообрабатываемых материалов (нержавеющая сталь, марганцовистая сталь и т. д.).

Наиболее широко применяемый в практике металлообработки нитрид титана TiN способен обеспечить высокую устойчивость

к окислению при повышенных температурах и повышенную стойкость при фрезеровании.

Дальнейшее развитие методов повышения стойкости режущего инструмента происходит в основном за счет многослойно-композиционного принципа конструирования износостойких покрытий.

Указанный принцип реализуется путем комбинированной обработки рабочей поверхности инструмента или нанесением на эту поверхность многослойных износостойких покрытий.

Комбинированную обработку обеспечивают за счет модификации поверхностного слоя химико-термическим воздействием, лазерным упрочнением, ионным легированием или иным методом, с последующим нанесением слоя износостойкого покрытия. Микроструктура поверхностного слоя инструмента из быстрорежущей стали, прошедшей такую комбинированную обработку, приведена на рис. 8.7. Здесь слой покрытия TiN лежит на азотированном подслое, плавно переходящем в основную структуру стали.

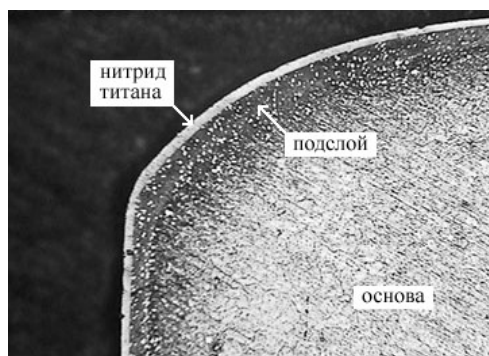


Рис. 8.7. Микроструктура быстрорежущей стали с нанесенным износостойким покрытием TiN на азотированном подслое

Эффективность такой износостойкой композиции можно проиллюстрировать зависимостью стойкости пластин из стали Р6М5 от скорости резания, приведенной на рис. 8.8 [2].

Другим направлением многослойно-композиционного принципа является повышение стойкости инструмента путем нанесения методами PVD или CVD многослойных покрытий (рис. 8.9). Каждый из слоев такого покрытия выполняет определенную роль в повышении общей стойкости инструмента. Так как между материалом покрытия и материалом инструмента существует значительная разница в тепло-

физических свойствах, коэффициентах линейного расширения и др., для исключения возможного отслаивания покрытия между основным покрытием и материалом инструмента вводится термостабильный промежуточный слой 1. Этот слой компенсирует разницу между теплофизическими свойствами инструмента и покрытия, способствует увеличению запаса пластической прочности и жесткости инструментальной матрицы. Для снижения физико-химической активности покрытия может вводиться барьерный слой 2, например из двуокиси алюминия  $Al_2O_3$ . Этот слой повышает сопротивляемость окислению. Для предохранения слоя из  $Al_2O_3$  от хрупкого разрушения на него наносят слой 3 из более пластичных TiCN или TiN. Другой возможный вариант



Рис. 8.9. Схема многослойного покрытия

TiN, который непосредственно контактирует с твердосплавной основой и обеспечивает высокую адгезию твердого сплава с материалом покрытия. Промежуточным барьерным слоем служит слой из карбонитрида титана TiCN. Оба слоя относительно пластичны и позволяют сделать переход к рабочему слою из нитрида циркония

ZrN, который обладает низкой склонностью к физико-химическому взаимодействию с обрабатываемыми сталями и поэтому достаточно эффективно противостоит адгезионному износу. Толщина каждого из слоев составляет около 2...4 мкм, а суммарная величина такого многослойного покрытия не превышает 10 мкм.

Преимущества методов CVD и PVD перед другими технологиями:

- покрытие может быть нанесено равномерным слоем на любую сложнопрофильную поверхность;

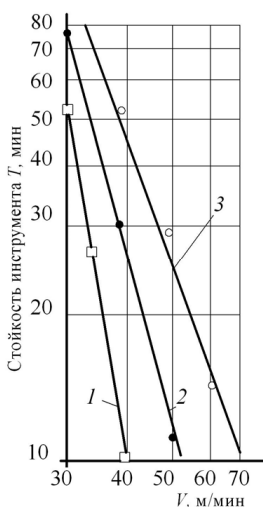


Рис. 8.8. Зависимость стойкости реза из стали Р6М5 от скорости резания [2]: 1 – без покрытия; 2 – TiN; 3 – ионное азотирование + TiN

- в качестве покрытий можно применить широкую гамму материалов (оксиды, карбиды, нитриды), обладающих необходимыми физико-механическими свойствами;
- можно сформировать покрытие из нескольких слоев, каждый из которых обладает определенными свойствами;
- эти технологии практически не загрязняют окружающую среду, что выгодно отличает их от химико-термических, электрохимических и химических технологий.

К недостаткам указанных методов следует отнести повышенную сложность и стоимость оборудования, относительно невысокую производительность, необходимость тщательной подготовки поверхности для нанесения покрытия.

В настоящее время модификация рабочих поверхностей инструмента путем нанесения износостойких покрытий является одним из наиболее перспективных направлений развития инструментального производства. Как в России, так и за рубежом проводят работы по расширению номенклатуры составов покрытий, повышению их качества и функциональных свойств, снижению себестоимости и повышению производительности технологий нанесения покрытий. Разрабатываются новые составы покрытий с наноструктурированными поверхностными слоями, обладающими высокой твердостью (более 30 ГПа), сочетающими высокую адгезию к подложке и низкую к обрабатываемым материалам, высокую температурную стабильность, стойкость к окислению и низкий коэффициент трения. (Напомним, что инструментальные материалы с твердостью более 20 ГПа, соответствующие твердости  $Al_2O_3$ , относят к классу сверхтвердых материалов (см. главу 2). Наряду с традиционными покрытиями на основе TiN, имеющими твердость до 20 ГПа, все более широкое распространение получают композиции на основе соединений TiAlN, CrN, TiCN, AlCN, ZrN и др., обладающие более высокими физико-механическими свойствами.

Широкое внедрение таких технологий в инструментальное производство дает возможность реализовать высокоскоростные и высокопроизводительные методы обработки конструкционных материалов, повышающие эффективность машиностроения.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Перечислите основные методы модификации рабочей поверхности инструмента.

2. Перечислите основные виды химико-термической обработки, позволяющие изменить свойства поверхностного слоя инструментального материала.
3. Какие основные химические элементы применяют для насыщения поверхностного слоя рабочих поверхностей инструмента?
4. Перечислите основные методы легирования поверхностного слоя инструментального материала.
5. Основные преимущества и недостатки лазерной обработки инструментального материала. Область её применения.
6. На каком принципе основаны методы химического осаждения износостойких покрытий?
7. На каком принципе основаны методы физического осаждения покрытий?
8. Какие ограничения при выборе метода модификации рабочей поверхности инструмента из быстрорежущей стали следует учитывать?
9. Какие основные элементы и химические соединения используют в составе износостойких покрытий?
10. В чем заключается многослойно-композиционный принцип конструирования износостойких покрытий?
11. Какие преимущества имеют многослойные износостойкие покрытия перед однослойными?
12. При каких видах износа рекомендуется применять режущий инструмент с износостойким покрытием?

## Глава 9. ТИПОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

### 9.1. Пример разработки технологического процесса изготовления фрезы специальной

Рассмотрим порядок разработки технологического процесса на примере изготовления режущего инструмента – специальной фрезы, предназначенной для фрезерования трубы картера рулевого механизма автомобиля.

Фреза представляет собой инструмент осевого класса, содержащий три основные и три дополнительные стружечные канавки, расположенные под углом наклона  $20^\circ$  относительно оси (рис. 9.1).

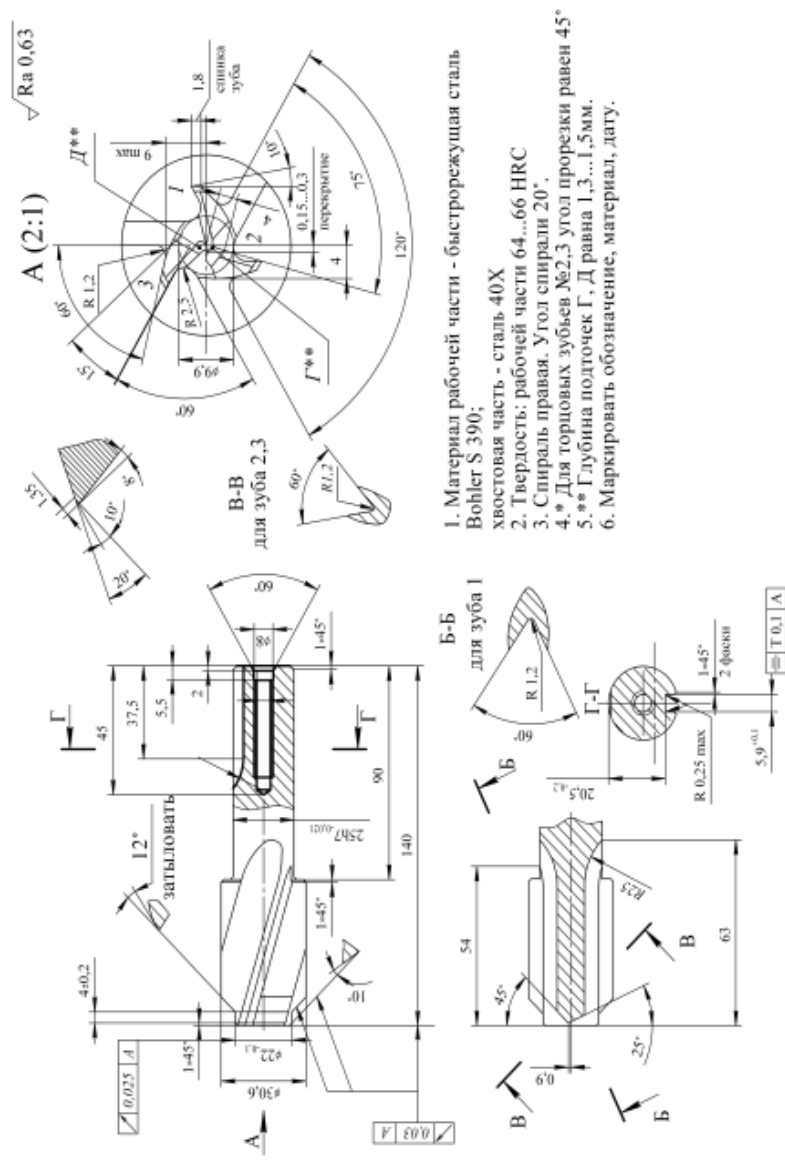
Инструмент состоит из рабочей и хвостовой частей, соединённых с помощью сварки. Материалом рабочей части фрезы служит быстрорежущая сталь Bohler S390, полученная методом порошковой металлургии (см. главу 2). Хвостовая часть фрезы выполняется из стали 40Х.

На рис. 9.2 представлен эскиз фрезы с нумерацией поверхностей, подвергаемых механической обработке при её изготовлении, а в табл. 9.1 – их обозначение.

Таблица 9.1

Основные поверхности изготавливаемой фрезы

Номер поверхности	Наименование основных поверхностей
1	Затылованная задняя поверхность зуба
2	Торец рабочей части фрезы (торцовые зубья)
3	Стружечная канавка скрытого зуба
4	Задняя поверхность скрытого зуба
5	Основная стружечная канавка
6	Цилиндрическая поверхность рабочей части
7	Цилиндрическая поверхность хвостовой части
8	Торец хвостовой части фрезы
9, 10, 11	Комбинированное резьбовое отверстие
12, 13, 14	Поверхности шпоночного паза
15	Задняя поверхность на торце зуба
16	Канавки на торцовой поверхности



1. Материал рабочей части - быстрорежущая сталь Bohler S 390;
2. Твёрдость: рабочей части 64...66 HRC
3. Спирали правая. Угол спирали 20°.
- 4.\* Для торцовых зубьев №2,3 угол прорезки равен 45°
- 5.\*\* Глубина подточек Г, Д равна 1,3...1,5мм.
6. Маркировать обозначение, материал, дату.

Рис. 9.1. Чертеж фрезы

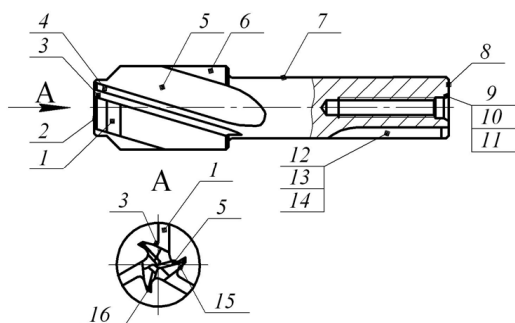


Рис. 9.2. Обозначение основных поверхностей фрезы

Основные технические требования к исполнительным поверхностям 1, 2, 3, 4, 5, 15, 16 заключаются в обеспечении их шероховатости, равной  $Ra\ 0,63\ \mu\text{m}$ , и недопустимости прижогов в поверхностном слое. Наиболее высокое требование к точности размера (квалитет 7) предъявляется к поверхности 7 – хвостовику цилиндрической формы, являющейся конструкторской базой готового инструмента. На торце хвостовой части фрезы расположено комбинированное отверстие с резьбовой поверхностью 9, 10, 11, а на цилиндрической поверхности 7 – шпоночный паз с поверхностями 12, 13, 14.

В табл. 9.2 показана технологическая последовательность механической обработки каждой поверхности заготовки, построенная на основе таблицы экономической точности (табл. 1.8). На основе анализа технологической последовательности механической обработки построен план операций технологического процесса (табл. 9.3). План содержит комплект технологических эскизов для каждой операции с указанием теоретической схемы базирования и допусков на операционные размеры. Собственно план состоит из трёх отдельных планов операций технологического процесса, включающих:

- 1) обработку заготовки рабочей части фрезы для последующей сварки;
- 2) обработку заготовки хвостовой части фрезы;
- 3) обработку поверхностей составной заготовки фрезы, полученной на операции сварки из двух изготовленных заготовок.

Выбор станочного оборудования (табл. 9.4) произведён с учётом габаритных размеров заготовки, требуемой точности и шероховатости обработанных поверхностей, а также с учётом возможной концентрации максимального количества технологических переходов в одной операции.



Следует обратить внимание, что при разработке плана операций технологического процесса в результате выбора прогрессивного станка – токарного обрабатывающего центра с ЧПУ удалось сконцентрировать на одной операции обработку, обтачивание хвостовой части заготовки, сверление отверстия, нарезание резьбы и фрезерование шпоночного паза.

В цикле операций шлифования и заточки применение шлифовально-заточного центра с ЧПУ также обеспечивает полную обработку всех поверхностей рабочей части фрезы на одной операции за один установ.

В табл. 9.5 приведены результаты выбора режущего и контрольно-измерительного инструмента, применяемого на каждой операции. При их выборе предпочтение отдано стандартным видам инструмента, в том числе резцам с механическим креплением неперетачиваемых пластин, шлифовальным кругам из кубического нитрида бора и др.

План операций технологического процесса, а также результаты выбора станочного оборудования, режущего и контрольного инструмента служат основой для составления окончательного варианта технологического маршрута (табл. 9.6) и подготовки документации на технологический процесс изготовления инструмента. Здесь на операционных эскизах проставлены размеры, получаемые на каждой из операций. Обозначены приспособления для установки и закрепления заготовки, реализующие теоретическую схему базирования на каждой из технологических операций.

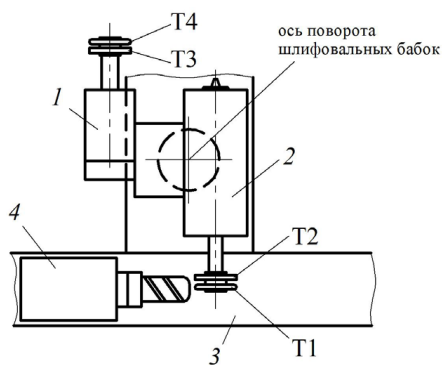


Рис. 9.3. Схема установки комплекта шлифовальных кругов T1, T2, T3, T4: 1 – поворотная шлифовальная бабка; 2 – основная шлифовальная бабка; 3 – продольный стол; 4 – бабка изделия

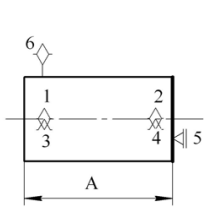
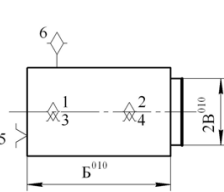
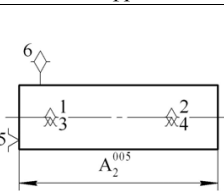
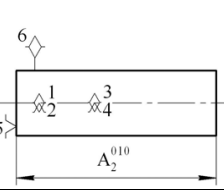
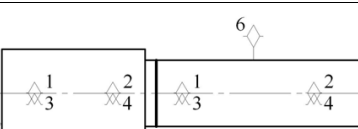
Далее рассмотрим пример реализации наиболее сложной технологической операции – шлифования и заточки исполнительных поверхностей фрезы на шлифовально-заточном центре Walter с применением комплекта из четырёх шлифовальных кругов. Схема установки кругов на шлифовальных шпинделях показана на рис. 9.3.

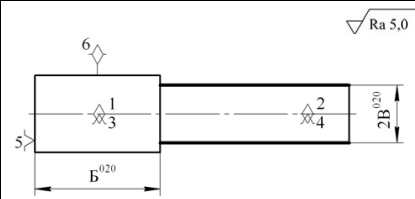
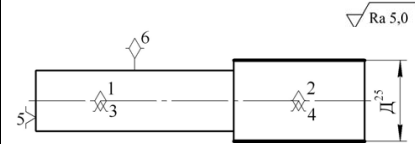
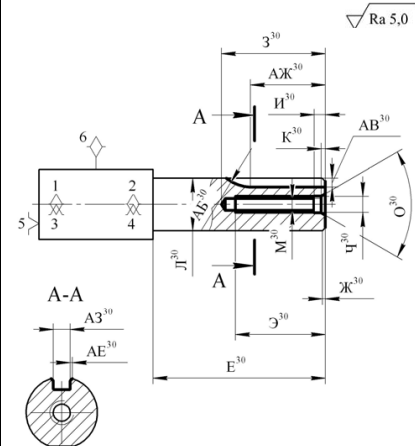
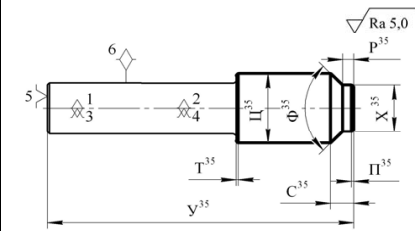
Таблица 9.2

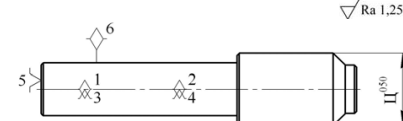

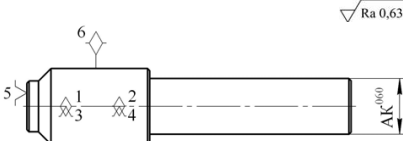
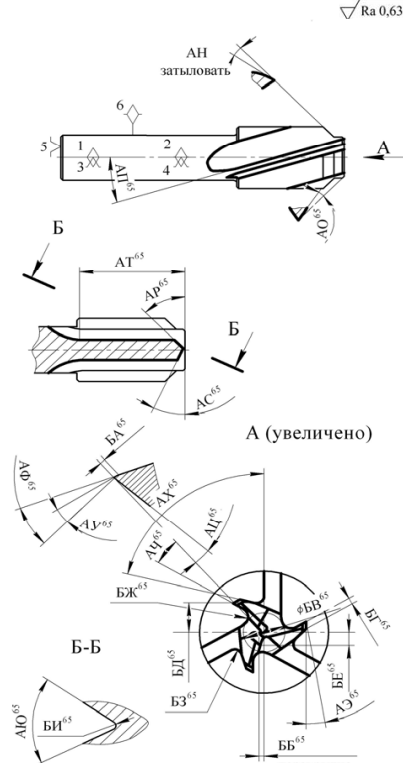
Технологическая последовательность механической обработки поверхностей

№ операции	Наименование операции	Номера поверхностей		Квалитет после обработки	Шероховатость поверхностей после обработки, R <sub>a</sub>
		Базовая	Обрабатываемая		
Рабочая часть					
1	Заготовительная			14	Rz = 40
2	Токарная			12	5
Хвостовая часть					
1	Заготовительная			14	Rz = 40
2	Токарная			12	5
Фреза (сборка)					
1	Сварка	–	–	–	–
2	Отжиг	–	–		
3	Токарная	6	7	–	–
4	Токарная	7, 8	6	12	5
5	Токарная с ЧПУ	6	7, 8, 9, 10, 11	12	5
6	Токарная	7, 8	1, 2, 3, 4, 6	12	5
7	Термическая	–	–	–	–
8	Круглошлифовальная	7, 8	6	12	1,25
9	Круглошлифовальная	2, 6	7	9	1,25
10	Круглошлифовальная	2, 6	7	7	0,63
11	Шлифовальная специальная	7	1, 2, 3, 15, 16	12	0,63

## План операций технологического процесса

Номер, наименование операции	Модель, название станка	Операционный эскиз	Операционные допуски, мм
<b>Рабочая часть фрезы</b>			
005 Заготовительная	Ленточно-пильный УЕ-330А		$TA^5=0,87$
010 Токарная	Токарный 16К20		$TB^{10}=0,15$ $TB^{10}=0,30$
<b>Хвостовая часть фрезы</b>			
005 Заготовительная	Ленточно-пильный УЕ-330А		$TA_2^{05}=0,87$
010 Токарная	Токарный 16К20		$TA_2^{10}=0,35$
<b>Фреза (сборочная единица)</b>			
005 Сварка	Сварочная машина МСМУ-150		
010 Термическая		Отжиг	

Номер, наименование операции	Модель, название станка	Операционный эскиз	Операционные допуски, мм
015 Контрольная		Контроль твердости	
020 Токарная	Токарный 16К20		
025 Токарная	Токарный 16К20		ТД <sup>20</sup> =0,25
030 Токарная с ЧПУ	Токарный обрабатывающий центр Т-7ТSM		TE <sup>30</sup> =0,35 TЖ <sup>30</sup> =0,25 ТЗ <sup>30</sup> =0,25 ТИ <sup>30</sup> =0,15 ТК <sup>30</sup> =0,15 ТЛ <sup>30</sup> =0,21 ТМ <sup>30</sup> =0,15 ТН <sup>30</sup> =0,15 ТО <sup>30</sup> =1° ТЧ <sup>30</sup> =0,15 ТЭ <sup>30</sup> =0,25 ТАБ <sup>30</sup> =-0,25 ТАВ <sup>30</sup> =-0,20 ТАЖ <sup>30</sup> =-0,25 ТАЕ <sup>30</sup> =0,20 ТАЗ <sup>30</sup> =0,10
035 Токарная	Токарный обрабатывающий центр Т-7ТSM		ТП <sup>35</sup> =0,15 ТР <sup>35</sup> =0,15 ТС <sup>35</sup> =0,15 ТТ <sup>35</sup> =0,15 ТУ <sup>35</sup> =0,400 ТФ <sup>35</sup> =1° ТХ <sup>35</sup> =0,21 ТЦ <sup>35</sup> =0,25
040 Контрольная			
045 Термическая			

Номер, наименование операции	Модель, название станка	Операционный эскиз	Операционные допуски, мм
050 Круглошлифовальная	Круглошлифовальный 3U12AF11		ТАН <sup>50</sup> =0,062
055 Круглошлифовальная	Круглошлифовальный 3U12AF11		ТАК <sup>55</sup> =0,052
060 Круглошлифовальная	Круглошлифовальный 3U12AF11		ТАК <sup>60</sup> =0,021
065 Шлифовальная	Шлифовально-заточной центр с ЧПУ Walter 55C CNC6		<p>ТАН<sup>65</sup>=1°  ТАО<sup>65</sup>=1°  ТАП<sup>65</sup>=1°  ТАР<sup>65</sup>=1°  ТАС<sup>65</sup>=1°  ТАТ<sup>65</sup>=0,30  ТАУ<sup>65</sup>=1°  ТАФ<sup>65</sup>=1°  ТАХ<sup>65</sup>=1°  ТАЧ<sup>65</sup>=1°  ТАЭ<sup>65</sup>=1°  ТАЮ<sup>65</sup>=1°  ТБА<sup>65</sup>=0,15  ТБВ<sup>65</sup>=0,15  ТБГ<sup>65</sup>=0,15  ТБД<sup>65</sup>=0,18  ТЕЕ<sup>65</sup>=0,15  ТБЖ<sup>65</sup>=0,15  ТБЗ<sup>65</sup>=0,15  ТБИ<sup>65</sup>=0,15</p>

Номер, наименование операции	Модель, название станка	Операционный эскиз	Операционные допуски, мм
070 Нанесение покрытия	Установка для нанесения покрытия		
075 Контрольная	–		
080 Маркировочная	D Mark 0,6RL		

Таблица 9.4

Выбор технологического оборудования и средств технологического оснащения

№ операции	Название операции	Тип, модель оборудования	Станочное приспособление
Рабочая часть			
005	Заготовительная	Горизонтально-ленточная пила UE-330A	Тиски самоцентрирующиеся с призматическими губками, ГОСТ 12195-66
010	Токарная	Токарный станок 16K20	Трёхкулачковый патрон, ГОСТ 2675-80
Хвостовая часть			
005	Заготовительная	Горизонтально-ленточная пила UE-330A	Тиски самоцентрирующиеся с призматическими губками, ГОСТ 12195-66
010	Токарная	Токарный станок 16K20	Трёхкулачковый патрон, ГОСТ 2675-80
Фреза (сборка)			
005	Сварка		
010	Отжиг		
015	Контрольная		
020	Токарная	Токарный станок 16K20	Трёхкулачковый патрон, ГОСТ 2675-80
025	Токарная	Токарный станок 16K20	Трёхкулачковый патрон, ГОСТ 2675-80
030	Токарная с ЧПУ	Токарный обрабатывающий центр T-7SM	Трёхкулачковый патрон
035	Токарная с ЧПУ	Токарный обрабатывающий центр T-7SM	Трёхкулачковый патрон
040	Контрольная		

№ операции	Название операции	Тип, модель оборудования	Станочное приспособление
045	Термическая	Твердомер ТК-2	
050	Круглошлифовальная	Круглошлифовальный станок 13U12AF11	Трёхкулачковый патрон, ГОСТ 2675-80
055	Круглошлифовальная	Круглошлифовальный станок 13U12AF11	Трёхкулачковый патрон, ГОСТ 2675-80
060	Круглошлифовальная	Круглошлифовальный станок 13U12AF11	Трёхкулачковый патрон, ГОСТ 2675-80
065	Шлифовальная с ЧПУ	Шлифовально-заточной центр с ЧПУ Walter 55C CNC6	Цанговый патрон специальный
070	Маркировочная	Лазерный маркировочный комплекс D Mark 0,6RL	
075	Нанесение покрытия	Установка для нанесения покрытия	
080	Контрольная		

Таблица 9.5

### Выбор режущего и мерительного инструмента

№ операции	Название операции	Режущий инструмент	Измерительный инструмент
Рабочая часть			
005	Заготовительная	Пила MIKUS VIFLEX M42 № 526	Линейка 0-300 мм, ГОСТ 427-75
010	Токарная	Резец проходной, ГОСТ 18879-73 пластина 4015PF	Штангенциркуль ШЦ11-250-0.05, ГОСТ 166-89
Хвостовая часть			
005	Заготовительная	Пила MIKUS VIFLEX M42 № 526	Линейка 0-300 мм, ГОСТ 427-75
010	Токарная	Резец проходной, ГОСТ 18879-73 пластина 4015PF	Штангенциркуль ШЦ11-250-0.05, ГОСТ 166-89
Фреза (сборка)			
005	Сварка		
010	Термическая		
015	Контрольная		Штангенциркуль ШЦ1-280-0,1, ГОСТ 166-89
020	Токарная	Резец проходной, ГОСТ 18879-73 пластина 4015PF	Штангенциркуль ШЦ11-250-0.05, ГОСТ 166-89

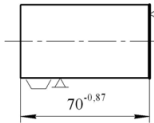
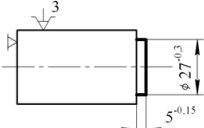
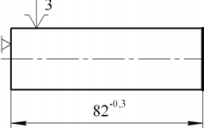
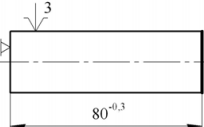
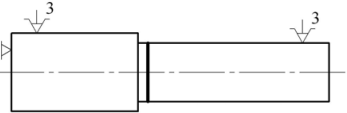
№ операции	Название операции	Режущий инструмент	Измерительный инструмент
025	Токарная	Резец проходной, ГОСТ 18879-73 пластина 4015PF	Штангенциркуль ШЦ11-250-0.05, ГОСТ 166-89
030	Токарная с ЧПУ	Сверло специальное. Метчик М8, ГОСТ 27101-86 Фреза трёхсторонняя дисковая специальная	Калибр резьбовой М8
035	Токарная с ЧПУ	Резец проходной, ГОСТ 18879-73 пластина 4015PF	Штангенциркуль ШЦ11-250-0.05, ГОСТ 166-89
040	Контрольная	—	Штангенциркуль ШЦ11-250-0.05, ГОСТ 166-89
045	Термическая		Алмазный наконечник НК1 0,21-0,30 карат
050	Кругло-шлифовальная	Круг шлифовальный 1350×50×20 25А 40 N 7 V5 35 м/с, ГОСТ Р52781-2007	Микрометр МК ц.д.-0,01 мм, 0-25 мм, ГОСТ 6507-90
055	Кругло-шлифовальная	Круг шлифовальный 1350×50×10 ЛКВ40 125/100 СМ2 К27 100%, ГОСТ 24747-90	Микрометр МК ц.д.-0,01 мм, 0-25 мм, ГОСТ 6507-90
060	Кругло-шлифовальная	Круг шлифовальный 1350×50×20 25А 40 N 7 V5 35 м/с, ГОСТ Р52781-2007	Микрометр МК ц.д.-0,01 мм, 0-25 мм, ГОСТ 6507-90
065	Шлифовальная с ЧПУ	Круги шлифовальные: 1. 101-60° 125×20×20×20 ЛКВ40 125/100 Б2 150%, ГОСТ 24747-90 2. 101-60° 100×20×16×12 ЛВК40 125/100 Б2 150%, ГОСТ 24747-90 3. 1А1 100×20×20×10 ЛВК40 125/100 Б2 100%, ГОСТ 24747-90 4. 101-60° 100×200×16×12 ЛВК40 125/100 Б2 150%, ГОСТ 24747-90	Штатив с магнитным основанием ШН-11Н, ГОСТ 10197-70. Индикатор ИЧ 0-10-0.01, ГОСТ 577-80. Угломер У-11724 (0-180), ГОСТ 5378-66. Штангенциркуль ШЦ11-250-0.05, ГОСТ 166-89
070	Нанесение покрытия	—	—
075	Контрольная		Штатив с магнитным основанием ШМ-11Н. 000. ПС, ГОСТ 10197-70. Индикатор ИЧ 0-10-0.01, ГОСТ 577-68

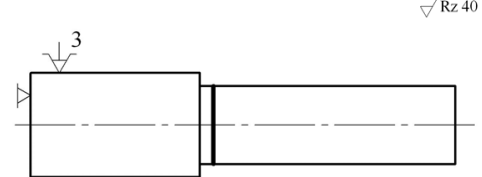
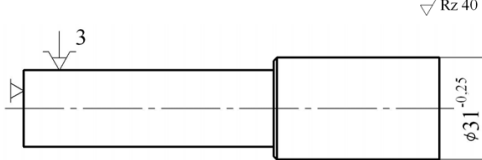
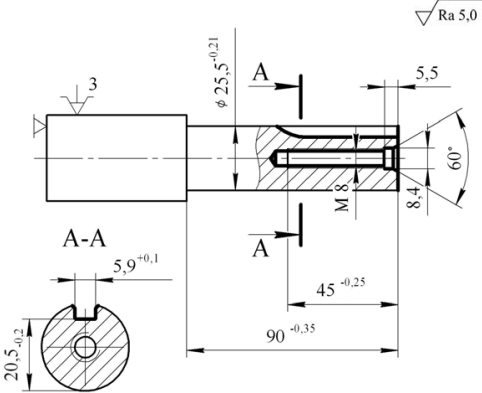


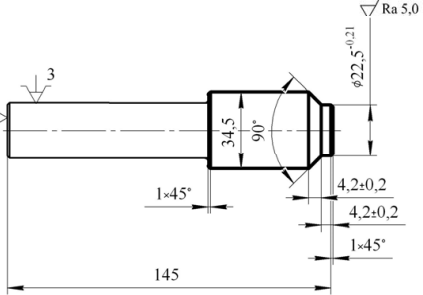
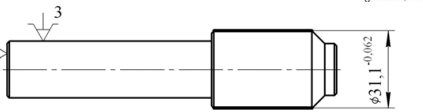
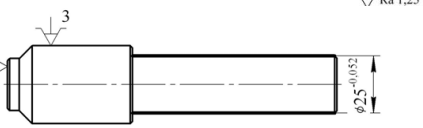
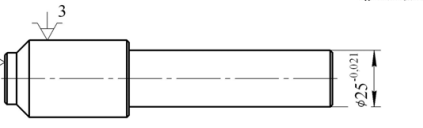
№ операции	Название операции	Режущий инструмент	Измерительный инструмент
			Штангенциркуль ШЦ11-250-0.05, ГОСТ 166-89.
			Угломер У-11724 (0-180), ГОСТ 5378-66. Микрометр типа МЗ ц.д. 0.01, ГОСТ 6507-60
080	Маркировочная	—	—

Таблица 9.6

Технологический маршрут изготовления фрезы специальной

Наименование и содержание операции	Станок	Технологический эскиз
Рабочая часть фрезы		
005 Отрезная. Отрезать, выдерживая размер	Ленточно-пильный UE-330A	 <span style="float: right;">▽ Rz 40</span>
010 Токарная. Точить шейку и торец, выдерживая размер	Токарный 16K20	 <span style="float: right;">▽ Ra 5,0</span>
Хвостовая часть фрезы		
005 Отрезная. Отрезать, выдерживая размер	Ленточно-пильный UE-330A	 <span style="float: right;">▽ Rz 40</span>
010 Токарная. Точить шейку и торец, выдерживая размер	Токарный 16K20	 <span style="float: right;">▽ Ra 5,0</span>
Фреза (Сборочная единица)		
005 Сварочная. Сварить заготовки встык	Сварочная машина МСМУ-150	

Наименование и содержание операции	Станок	Технологический эскиз
010 Термическая. Отжечь заготовку		
015 Контрольная. Контроль твёрдости		
020 Токарная. Точить грат	Токарный 16К20	
025 Токарная. Точить, выдерживая размер согласно эскизу		
030 Токарная с ЧПУ 1. Точить хвостовую часть фрезы, выдерживая размеры, снять фаску согласно эскизу. 2. Сверлить отверстие, выдерживая размеры согласно эскизу. 3. Нарезать резьбу М8 согласно эскизу. 4. Фрезеровать шпоночный паз, выдерживая размеры, снять фаски согласно эскизу	Токарный обрабатывающий центр	

Наименование и содержание операции	Станок	Технологический эскиз
<p>035 Токарная с ЧПУ Точить рабочую часть фрезы, выдерживая размеры согласно эскизу</p>	<p>Токарный обрабатывающий центр</p>	
<p>040 Контрольная</p>		
<p>045 Термическая</p>		
<p>050 Круглошлифовальная. Шлифовать, выдерживая размер согласно эскизу</p>		
<p>055 Круглошлифовальная. Шлифовать предварительно, выдерживая размер согласно эскизу</p>		
<p>060 Круглошлифовальная. Шлифовать окончательно, выдерживая размер согласно чертежу</p>		

Наименование и содержание операции	Станок	Технологический эскиз
<p>065 Шлифовальная. Шлифовать, выдерживая размеры согласно чертежу</p>	<p>Шлифовально-заточной центр с ЧПУ Walter 55C CNC6</p>	<p>The technical drawing shows a grinding wheel with the following features and dimensions:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Top View:</b> Shows a cylindrical wheel with a diameter of 60. The grinding surface has a chamfered edge with a 12° angle, labeled "затыловать" (chamfer). The surface finish is specified as Ra 0,63. A section line A-A is shown.</li> <li><b>Section B-B:</b> Shows a cross-section of the wheel with a 25° angle at the grinding surface and a 60° angle at the back. A radius of R1.2 is indicated.</li> <li><b>Enlarged View A (A (увеличено)):</b> Shows a detailed view of the grinding surface with a 120° angle. It features a central hole with a diameter of <math>\phi 9,9</math> and a radius of R2,5. The grinding surface has a radius of R1.2. The wheel thickness is 4, with a 0,15...0,3 overlap ("перекрытие"). The grinding surface is 9 max wide, and the wheel has a 1,8 "слизкая зубца" (slippery tooth) feature.</li> <li><b>Other Dimensions:</b> A 1,35 dimension is shown for a specific feature, and angles of 10°, 20°, 15°, 8°, and 75° are also indicated.</li> </ul>
<p>070 Нанесение покрытия. Нанести покрытие TiAlN согласно чертежу</p>	<p>Установка для нанесения покрытия</p>	

Наименование и содержание операции	Станок	Технологический эскиз
075 Контрольная. Контролировать все размеры согласно чертежу		
080 Маркировочная		

Обработку стружечных канавок, заточку задних поверхностей и затылование выполняют на шлифовально-заточном центре с ЧПУ за одну технологическую операцию (табл. 9.6), состоящую из 9 технологических переходов (рис. 9.4–9.12).

На первом переходе (рис. 9.4) производится последовательное вышлифовывание трех основных стружечных канавок. При этом обеспечивается заточка скрытого зуба малой ступени по передней поверхности с получением переднего угла  $15^\circ$ . Для обеспечения угла наклона стружечной канавки  $20^\circ$  ось вращения шлифовального круга располагается под углом  $70^\circ$  относительно оси вращения заготовки. Для получения переднего угла  $15^\circ$  рабочая плоскость круга горизонтально смещена относительно оси вращения заготовки.

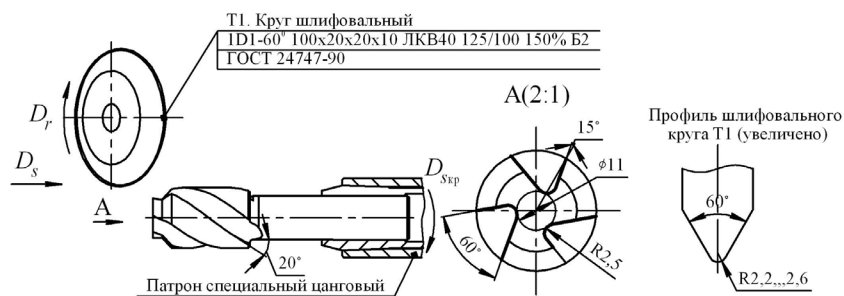


Рис. 9.4. Вышлифовывание стружечных канавок на первом переходе

Заготовка совершает движение  $D_s$  по управляемой оси  $X$ , вращается вокруг оси  $A$ , что обеспечивает винтовое направление стружечной канавке. Поскольку стружечная канавка имеет относительно большую глубину (11 мм), обработку производят за несколько рабочих ходов.

На втором переходе (рис. 9.5) обеспечивается вышлифовывание трех стружечных канавок малой ступени для образования скрытых режущих зубьев фрезы. Все движения и углы взаимного расположе-

ния шлифовального круга и заготовки аналогичны первому переходу. Смещение рабочей поверхности круга относительно оси заготовки не производится, чтобы передний угол был равен нулю градусов. Выдерживается размер между дном стружечной канавки и осью заготовки в пределах 9 мм (рис. 9.1).

Третий переход – шлифование кругом Т3 скрытого зуба по высоте – заточка задней поверхности с получением наружного диаметра  $22^{-0,1}$  мм и задних углов скрытых зубьев, равных  $10^\circ$  (рис. 9.6).

Все движения и углы взаимного расположения шлифовального круга и заготовки аналогичны первому переходу.

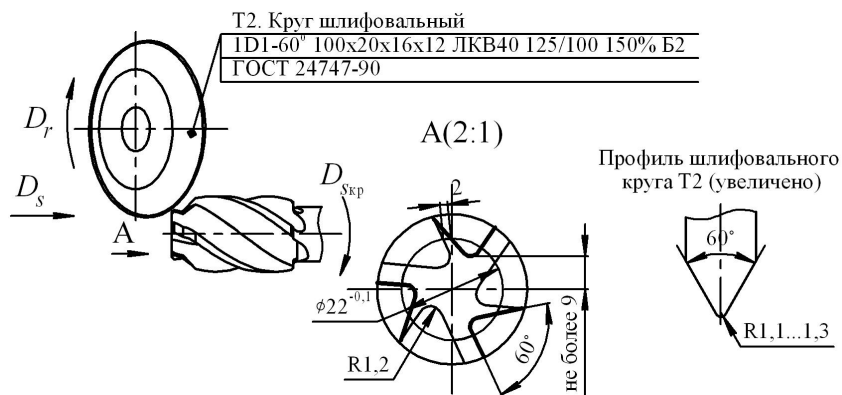


Рис. 9.5. Вышлифовывание стружечных канавок малой ступени на втором переходе

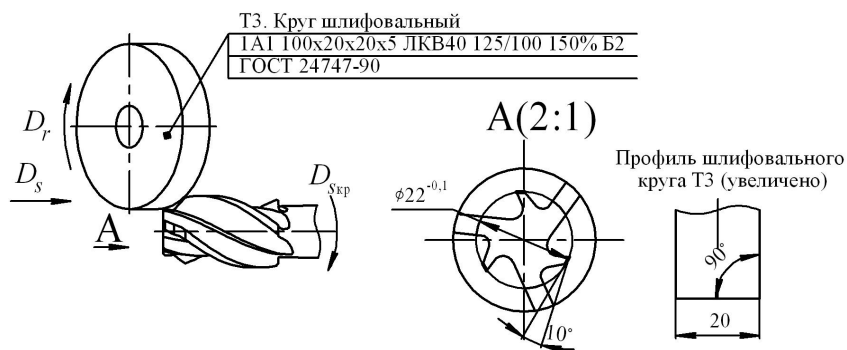


Рис. 9.6. Шлифование скрытого зуба по высоте на третьем переходе

Четвертый переход – затылование шлифовальным кругом Т4 большого зуба по режущей кромке под углом  $45^\circ$  и одновременно

занижение малого зуба по диаметру (рис. 9.7). При этом торец круга производит обработку режущей кромки под углом  $45^\circ$ , а его периферия занижает малый зуб на величину  $2,5$  мм и производит затылование задней поверхности под углом  $12^\circ$ .



Рис. 9.7. Шлифование большого зуба на четвертом переходе

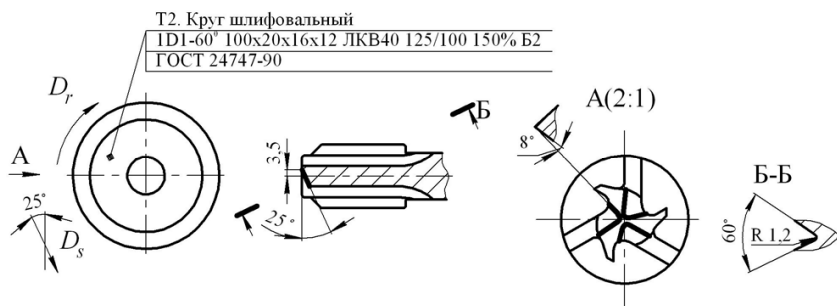


Рис. 9.8. Прорезка торцовых зубьев на пятом переходе

На пятом переходе выполняется прорезка торцовых зубьев под углом  $25^\circ$  относительно торца заготовки и одновременно их заточка по передним поверхностям шлифовальным кругом Т2 (рис. 9.8). Шлифовальный круг устанавливается так, чтобы обеспечить передний угол на торцовых зубьях, равный  $8^\circ$ , и сформировать выход режущих кромок к оси фрезы. Шлифовальный круг за счет движения подачи  $D_s$  под углом  $25^\circ$  подходит к торцу заготовки, прорезает при этом зуб на всю глубину за один проход (заготовка не вращается). Точка начала касания круга торца заготовки должна располагаться для двух зубь-

ев на расстоянии около 4 мм от оси заготовки, для третьего зуба для обеспечения перекрытия эта величина составляет 5...6 мм.

На шестом переходе для обеспечения выхода круга выполняется прорезка канавки между торцовыми зубьями (рис. 9.9). Для этого ось вращения шлифовального круга Т2 устанавливают перпендикулярно оси заготовки. Сначала производится прорезка первой канавки – шлифовальный круг смещается относительно заготовки таким образом, чтобы обеспечить перекрытие (выход за ось фрезы) самого крупного торцового зуба на величину 0,15...0,3 мм (чертеж фрезы, рис. 9.1). Шлифовальный круг врезается в торец заготовки за счет движения подачи  $D_s$  под углом  $45^\circ$  к торцу заготовки и выходит из заготовки, прорезая при этом зуб на всю глубину за один рабочий ход (заготовка не вращается). Прорезка второй канавки осуществляется аналогично первой.

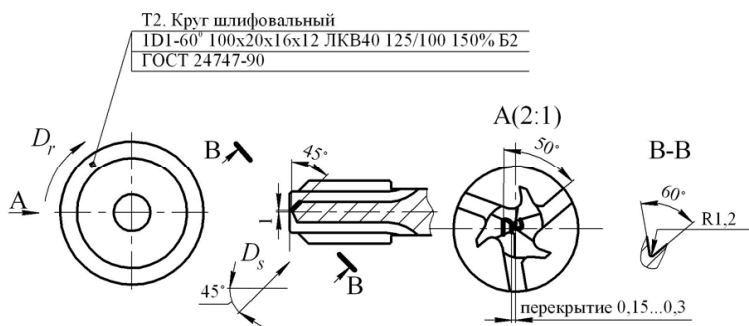


Рис. 9.9. Прорезка канавки между торцовыми зубьями на шестом переходе

На седьмом переходе (рис. 9.10) выполняется предварительная заточка кругом Т3 торцовых зубьев по задней поверхности. Оси шлифовального круга и заготовки фрезы располагаются взаимноперпендикулярно и лежат в одной плоскости. При этом рабочий торец шлифовального круга смещен и не доходит до оси заготовки на 1 мм при обработке малых торцовых зубьев и заходит за центр при обработке большого торцового зуба на 0,5 мм. Заготовка повернута таким образом, чтобы режущая кромка обрабатываемого зуба располагалась в горизонтальной плоскости. Шлифовальный круг подводится к торцу заготовки до касания, затем за счет движения подачи  $D_s$  под углом  $20^\circ$  формирует заднюю поверхность зуба.

На восьмом переходе производится окончательная заточка кругом Т3 торцовых зубьев по задней поверхности (рис. 9.11). Выставле-



ние осей заготовки и шлифовального круга как на предыдущем переходе. Шлифовальный круг подводится к режущей кромке торцового зуба фрезы до касания и за счет движения подачи  $D_s$  по направлению, параллельному оси  $X$ , врезается в него на глубину 0,1...0,12 мм. Затем за счет движения подачи в направлении под углом  $20^\circ$  к торцу заготовки формирует заднюю поверхность торцового зуба.

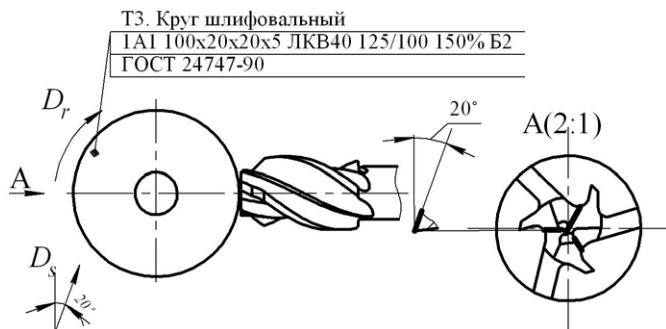


Рис. 9.10. Предварительная заточка торцовых зубьев на седьмом переходе

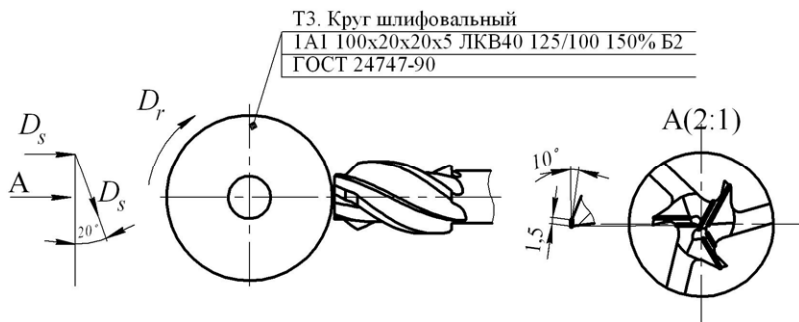


Рис. 9.11. Окончательная заточка торцовых зубьев на восьмом переходе

На девятом переходе выполняется заточка скрытого зуба по задней поверхности с образованием фаски (рис. 9.12). Ось шлифовального круга ТЗ устанавливают перпендикулярно оси заготовки. Его рабочий торец выставляют в ось заготовки и за счет движения подачи  $D_s$  в направлении к торцу заготовки под углом  $45^\circ$  формируют заднюю поверхность зуба с получением заднего угла  $10^\circ$ .

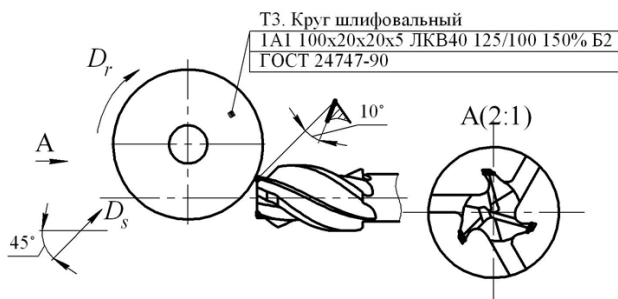


Рис. 9.12. Заточка скрытого зуба по задней поверхности на девятом переходе

Приведенный пример показывает, что изготовление инструмента на шлифовально-заточных центрах позволяет получить более высокую точность размеров и производительность обработки по сравнению со шлифованием и заточкой на традиционных шлифовальных и заточных станках, которые выполняются за несколько технологических операций с переустановом заготовки.

## 9.2. Типовой технологический процесс изготовления сверла с цилиндрическим хвостовиком

Типовой технологический процесс (табл. 9.7) предназначен для изготовления сверл с цилиндрическим хвостовиком с наружным диаметром от 5,0 до 20 мм (рис. 9.13). Основные размеры сверл установлены согласно ГОСТ 10902-77.

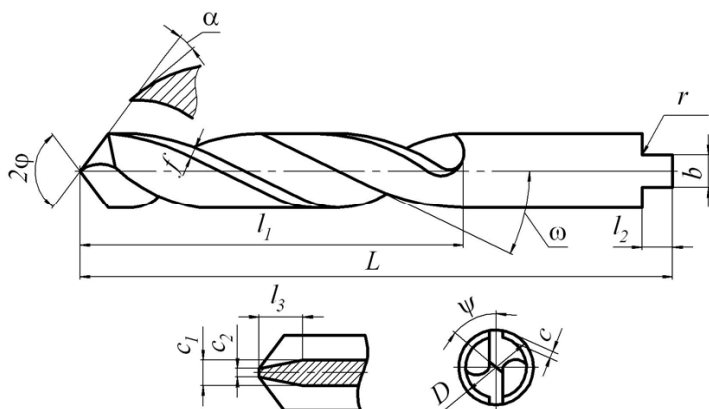


Рис. 9.13. Типовая конструкция сверла с цилиндрическим хвостовиком

Заготовка: прокат холодноотянутый, калиброванный.

Материал: быстрорежущая сталь, например сталь Р6М5.

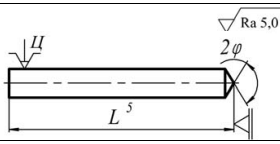
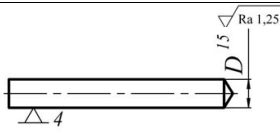
Выбор станочного оборудования (табл. 9.7), инструмента (табл. 9.8), а также конкретный набор технологических операций зависит от размеров изготавливаемых сверл и серийности их выпуска. Так, токарная операция 005, где выполняется отрезка заготовки с одновременным формированием вершины сверла с углом  $2\varphi$ , может быть разделена на две самостоятельные. В этом случае отрезку производят на ленточно-пильном или абразивно-отрезном станках.

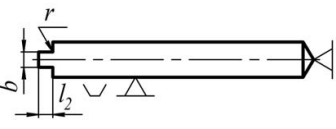
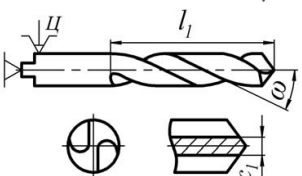
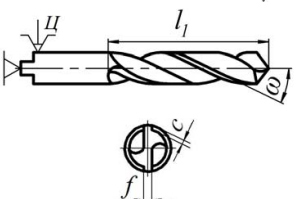
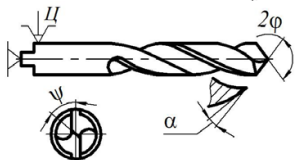
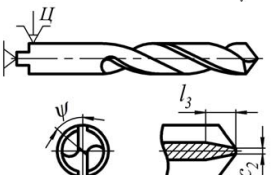
Наиболее ответственные операции связаны с формированием стружечных канавок, спинок и главных задних поверхностей. В зависимости от серийности производства используют два типа станочного оборудования. В условиях мелкосерийного производства целесообразно применение шлифовально-заточного центра с ЧПУ, например мод. Walter CNC55, обеспечивающего обработку всех поверхностей рабочей части сверла (см. операцию 030).

В крупносерийном производстве экономически целесообразно применение специального шлифовального станка-автомата, например мод. Hertlein АПВ-520, обладающего более высокой производительностью. Однако станок-автомат не обладает гибкостью станка с ЧПУ, это потребует выделить подточку сердцевины сверла и его заточку из операции 030 в две отдельные технологические операции.

Таблица 9.7

Технологический маршрут изготовления сверла

Наименование и содержание операции	Станок. Приспособление	Технологический эскиз
005 Токарная 1. Отрезать, выдерживая размер $L^5$ и угол $2\varphi$ . 2. Контролировать 10% от партии	Токарный полуавтомат	
0010 Термическая Закалить. Твердость HRC, согласно чертежу	Твердомер ТК-2	
0015 Бесцентрошлифовальная 1. Шлифовать в размер $D^{15}$ . 2. Контролировать первые 10 штук, далее 10% от партии	Бесцентрошлифовальный 3М182. Нож.	

Наименование и содержание операции	Станок. Приспособление	Технологический эскиз
<p>0020 Шлифовальная специальная</p> <p>1. Шлифовать, выдерживая размеры <math>l_2</math>, <math>b</math>, <math>r</math> согласно чертежу.</p> <p>2. Контролировать 10% от партии</p>	<p>Специальный шлифовальный Hertlein TG-150. Призмы. Упор</p>	<p style="text-align: right;">▽ Ra 1,25</p> 
<p>0025 Наладочная</p> <p>Выполнить наладку станка</p>	<p>Специальный шлифовальный Hertlein TG-150. Призмы</p>	
<p>0030 Шлифовальная с ЧПУ</p> <p>Переход 1. Шлифовать стружечные канавки, выдерживая размеры <math>\omega</math>, <math>l_1</math>, <math>c_1</math> согласно чертежу</p>		<p style="text-align: right;">▽ Ra 0,80</p> 
<p>Переход 2. Шлифовать спинки, выдерживая размер <math>c</math> и <math>f</math> согласно чертежу</p>	<p>Шлифовально-заточной Walter CNC55</p>	<p style="text-align: right;">▽ Ra 0,63</p> 
<p>Переход 3. Заточить по задней поверхности, выдерживая размеры <math>2\phi</math>, <math>\alpha</math>, <math>\psi</math> согласно чертежу</p>		<p style="text-align: right;">▽ Ra 0,63</p> 
<p>Переход 4. Выполнить подточку, выдерживая размеры <math>c_2</math>, <math>l_3</math> согласно чертежу</p>		<p style="text-align: right;">▽ Ra 0,63</p> 

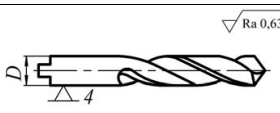
Наименование и содержание операции	Станок. Приспособление	Технологический эскиз
0035 Контрольная 1. Контролировать размеры $D^{45}$ , $L^{30}$ , $c$ , $c_1$ , $c_2$ , $f$ , $l_1$ , $l_2$ , $l_3$ , $\alpha$ , $2\phi$ , увеличение сердцевины, Ra, согласно чертежу 30% от партии	Контрольный стол	
0040 Термическая Отпустить		
0045 Рихтовочная Рихтовать	Пресс П-417Б. Призмы.	
0050 Бесцентровошлифовальная 1. Шлифовать размер $D$ окончательно, с образованием обратной конусности, согласно чертежу. 2. Контролировать первые 10 штук 100%, далее 20% от партии.	Бесцентровошлифовальный 3М182. Нож. Желоб	
0055 Нанесение покрытия. Нанести покрытие TiN	Тара нержавеющая	
0060 Маркировочная Маркировать, согласно чертежу	Лазерный маркирующий комплекс В Mark 0,6RL	
0065 Контрольная 1. Контролировать все размеры и технологические требования, согласно чертежу 10% от партии	Контрольный стол	
0070 Консервация		
0075 Упаковочная Упаковать сверла		

Таблица 9.8

### Выбор инструментального обеспечения

Наименование операции	Инструмент режущий и вспомогательный	Инструмент контрольный
005 Токарная	Резец отрезной специальный. Цанговый патрон. Цанга	Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05, ГОСТ 166-89. Угломер У-11724, ГОСТ 5378-66

Наименование операции	Инструмент режущий и вспомогательный	Инструмент контрольный
0010 Термическая		Алмазный наконечник НК1 0,21–0,30 карат
0015 Бесцентрошлифовальная	Шлифовальный круг 1-500×200×305 25A60M7V, ГОСТ Р 52781-2007. Ведущий круг 1 300×200×127 14A16НСТ11В, ГОСТ Р 52781-2007 Алмазный карандаш 3908-0064, ГОСТ 607-80	Микрометр МК 0-25-0,01, ГОСТ 6507-90
0020 Шлифовальная специальная	Шлифовальный круг 1-300×6×127 25A60M7V, ГОСТ Р 52781-2007. Алмазный карандаш 3908-0064, ГОСТ 607-80	Микрометр МК-0-25-0,01, ГОСТ 6507-90. Штатив магнитный ШМ-11Н, ГОСТ 10197-70. Индикатор ИЧ 0-10-0.01, ГОСТ 577-68
0025 Наладочная	Контрольная оправка	
0030 Шлифовальная с ЧПУ Переход 1	Шлифовальный круг I4F1 100×10×20×5 ЛКВ40 125/100 СМ К27 100%	Штатив магнитный ШМ-11Н. ГОСТ 10197-70. Индикатор ИЧ 0-10-0,01, ГОСТ 577-68.
Переход 2	Шлифовальный круг 1А1 100×10×20×5 ЛКВ40 125/100 СМ К27 100%, ГОСТ 24747-90	Штангенциркуль ШЦ-П-250-0,05, ГОСТ 166-89. Угломер У-11724 (0-180), ГОСТ 5378-66.
Переход 3	Шлифовальный круг 12А2-450 100×35×20×6 ЛКВ40 125/100 СТ1 В2-01 100%, ГОСТ 24747-90	Микрометр типа М3 –0-25-0,01, ГОСТ 6507-60
Переход 4	Шлифовальный круг I4F1 100×10×20×5 ЛКВ40 125/100 СМ К27 100%	
0035 Контрольная	Плита. Призма	Микрометр МК-0-25-0,01, ГОСТ 6507-90. Оптическая измерительная машина Walter Helicheck Pro Штангенциркуль ШЦ-П-250-0,05 ГОСТ 166-89. Профилометр Surfcoorder SE500
0040 Термическая		
0045 Рихтовочная		
0050 Бесцентрошлифовальная	Шлифовальный круг 1 500×200×305 25A60M7V, ГОСТ Р 52781-2007.	Микрометр МК 0-25-0,01, ГОСТ 6507-90

Наименование операции	Инструмент режущий и вспомогательный	Инструмент контрольный
	Ведущий круг 1 300×200×127 14A16HCT11B, ГОСТ Р 52781-2007 Алмазный карандаш 3908-0064, ГОСТ 607-80	
0055 Нанесение покрытия		
0060 Маркировочная		
0065 Контрольная		Оптическая измерительная машина Walter Helicheck Pro Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05, ГОСТ 166-89. Профилометр Surfcoorder SE500
0070 Консервация		
0075 Упаковочная		

### 9.3. Типовой технологический процесс изготовления долбяка прямозубого

Типовой технологический процесс (табл. 9.9, 9.10) предназначен для изготовления прямозубого долбяка насадного с модулем от 1 до 8 мм (рис. 9.14).

Заготовкой для долбяка служит прокат из быстрорежущей стали, например из стали Р6М6Ф3-Ш. Полученная электрошлаковым переплавом, она, как и сталь, изготовленная методом порошковой металлургии, может иметь балл карбидной неоднородности не выше третьего, поэтому не требует дополнительной обработки пластическим деформированием. Однако в случае изготовления больsherазмерных долбяков заготовку из проката подвергают ковке для увеличения наружного диаметра. Наиболее высокие технические требования предъявляются к точности размеров зубчатого профиля, точности базового отверстия, к отклонению наружного и внутреннего торцов относительно отверстия.

Особые требования по точности размеров, качеству поверхности и состоянию поверхностного слоя предъявляются к зубчатому профилю долбяка. Следует обеспечить, в частности, заданную толщину зуба по дуге делительной окружности  $S$ , передний угол  $\gamma$ , задний угол при вершине  $\alpha_v$  и задний угол на боковых сторонах  $\alpha_o$ , а также базовые торцы и отверстия. На рабочем чертеже долбяка обозначают и дру-

гие требования, однако мы не будем их рассматривать, поскольку они лишь усложняют иллюстрацию технологического маршрута, не внося в него принципиальных особенностей.

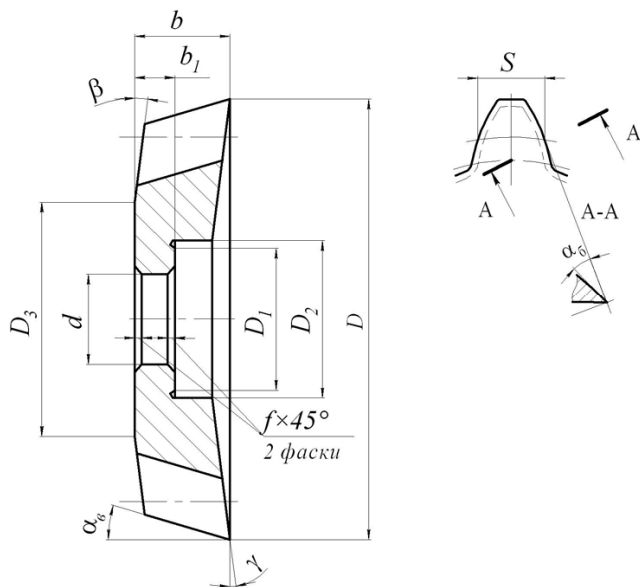


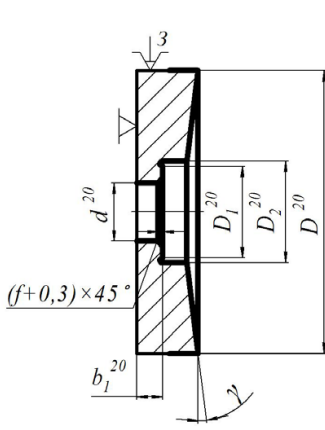
Рис. 9.14. Конструкция долбляка прямоугого

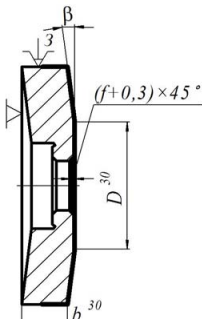
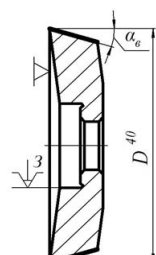
Таблица 9.9

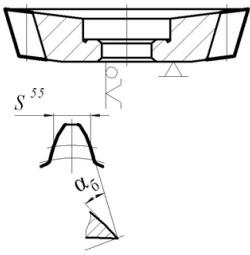
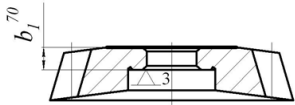
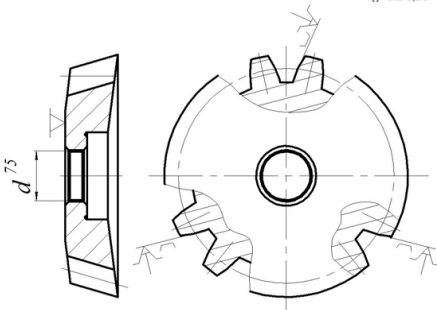
Технологический маршрут изготовления долбляка

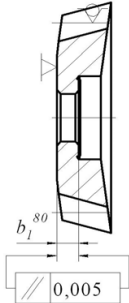
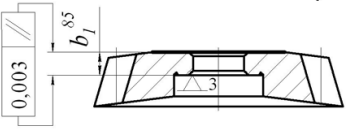
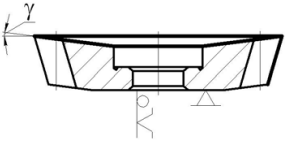
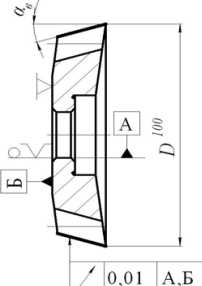
Наименование и содержание операции	Станок. Приспособление	Технологический эскиз
005 Контрольная Приемка поковок		
0010 Токарная 1. Установить, выверить и закрепить заготовку. 2. Сверлить отверстие в размер $d^{10}$ . 3. Точить наружный диаметр в размер $D^{10}$ до кулачков. Точить торец в размер $b^{10}$ . 4. Контроль 100%	Токарно-револьверный 1Е365БП. Трехкулачковый патрон, ГОСТ 2675-80	 ▽ Ra 5

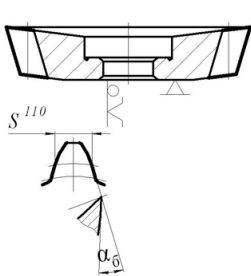
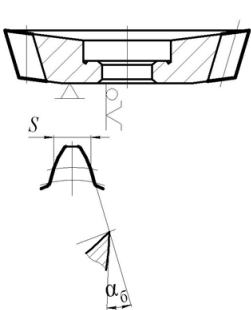


Наименование и содержание операции	Станок. Приспособление	Технологический эскиз
<p>0015 Наладочная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разработать программу мехобработки.</li> <li>2. Выставить режущий инструмент.</li> <li>3. Установить режимы обработки.</li> <li>4. Проверить рабочие движения станка</li> </ol>	<p>Токарный полуавтомат с ЧПУ 16А20Ф3. Трехкулачковый патрон, ГОСТ 2675-80</p>	<p>Наладка к операции 0020</p>
<p>0020 Токарная с ЧПУ</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить, выверить и закрепить заготовку.</li> <li>2. Точить наружный диаметр в размер <math>D^{20}</math> до кулачков.</li> <li>3. Расточить область чашки, выдерживая размеры: <math>D_1^{20}</math>, <math>D_2^{20}</math>, <math>b_1^{20}</math>; угол <math>\gamma</math> согласно чертежу.</li> <li>4. Расточить отверстие в размер <math>d^{20}</math>.</li> <li>5. Точить фаску <math>(f + 0,3) \times 45^\circ</math>.</li> <li>6. Контроль 100%</li> </ol>	<p>Токарный с ЧПУ 16А20Ф3. Трехкулачковый патрон, ГОСТ 2675-80</p>	 <p>The drawing shows a cross-section of a turned part with the following dimensions and features:  - Total length: <math>D^{20}</math>  - Outer diameter: <math>D^{20}</math>  - Inner diameter: <math>d^{20}</math>  - Chamfered end diameter: <math>D_1^{20}</math>  - Chamfered end length: <math>D_2^{20}</math>  - Chamfered end width: <math>b_1^{20}</math>  - Chamfer angle: <math>(f + 0,3) \times 45^\circ</math>  - Chamfer width: <math>\gamma</math>  - Surface finish symbol: <math>\sqrt{Ra 5}</math>  - A small dimension '3' is indicated at the top of the part.</p>
<p>0025 Наладочная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разработать программу мехобработки.</li> <li>2. Выставить режущий инструмент.</li> <li>3. Установить режимы обработки.</li> <li>4. Проверить рабочие движения станка</li> </ol>	<p>Токарный с ЧПУ 16А20Ф3. Трехкулачковый патрон, ГОСТ 2675-80</p>	<p>Наладка к операции 0030</p>

Наименование и содержание операции	Станок. Приспособление	Технологический эскиз
<p>0030 Токарная с ЧПУ</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить, выверить и закрепить заготовку.</li> <li>2. Подрезать наружный торец, выдерживая размер <math>b^{30}</math>.</li> <li>3. Точить угол <math>\beta</math> согласно чертежу, выдержав размер <math>D_1</math>.</li> <li>4. Точить фаску <math>(f \pm 0,3) \times 45^\circ</math>.</li> <li>5. Контроль 100%</li> </ol>	<p>Токарный с ЧПУ 16A20Ф3. Трехкулачковый патрон, ГОСТ 2675-80</p>	<p style="text-align: right;"><math>\sqrt{Ra 5}</math></p> 
<p>0035 Наладочная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разработать программу обработки.</li> <li>2. Выставить режущий инструмент.</li> <li>3. Установить режимы обработки.</li> <li>4. Проверить рабочие движения станка</li> </ol>	<p>Токарный с ЧПУ 16A20Ф3. Трехкулачковый патрон, ГОСТ 2675-80 Центр вращающийся KM5, ГОСТ 8742-62</p>	<p style="text-align: center;">Наладка к операции 0040</p>
<p>0040 Токарная с ЧПУ</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить, выверить и закрепить оправку с заготовкой.</li> <li>2. Точить наружный диаметр <math>D^{40}</math> под угол <math>\alpha_g</math>.</li> <li>3. Контроль 100%</li> </ol>	<p>Токарный с ЧПУ 16A20Ф3. Центр вращающийся KM5, ГОСТ 8742-75 Трехкулачковый патрон, ГОСТ 2675-80</p>	<p style="text-align: right;"><math>\sqrt{Ra 5}</math></p> 
<p>0045 Координатно-графическая</p> <p>Вычертить увеличение профиля зуба в масштабе 50:1, согласно чертежу</p>	<p>Установка для вычерчивания профилей</p>	
<p>0050 Наладочная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разработать программу обработки.</li> <li>2. Выставить режущий инструмент.</li> <li>3. Установить режимы обработки.</li> <li>4. Проверить рабочие движения станка</li> </ol>	<p>Зубофрезерный с ЧПУ ZFWZ03. Центр упорный 1:10, ГОСТ 7344-55</p>	<p style="text-align: center;">Наладка к операции 0055</p>

Наименование и содержание операции	Станок. Приспособление	Технологический эскиз
<p>0055 Зубофрезерная с ЧПУ</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить, вывернуть и закрепить оправку с заготовкой.</li> <li>2. Фрезеровать зубья, выдерживая размер на толщину зуба <math>S^{55}</math> и задний угол по боковым сторонам <math>\alpha_6</math> согласно чертежу.</li> <li>3. Контроль 100%</li> </ol>	<p>Зубофрезерный с ЧПУ ZFWZ03. Центр упорный 1:10, ГОСТ 7344-55</p>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Зачистить заусенцы.</li> <li>2. Клеймить на глубину 0,4 мм.</li> <li>3. Контроль 100%.</li> </ol>	<p>Верстак слесарный</p>	
<p>0065 Термическая Закалить HRC 62...64</p>	<p>Твердомер ТК-2</p>	
<p>0070 Плоскошлифовальная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить и закрепить заготовку.</li> <li>2. Шлифовать наружный торец предварительно, в размер <math>b_1^{70}</math>.</li> <li>3. Контроль 100%</li> </ol>	<p>Плоскошлифовальный RT-60. Комплект переходников магнитных</p>	
<p>0075 Внутршлифовальная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить, вывернуть по внутреннему диаметру, закрепить заготовку.</li> <li>2. Шлифовать отверстие в размер <math>d</math> согласно чертежу.</li> <li>3. Контроль 100%</li> </ol>	<p>Внутршлифовальный станок 3212A. Приспособление для шлифования</p>	

Наименование и содержание операции	Станок. Приспособление	Технологический эскиз
<p>0080 Внутришлифовальная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить и закрепить.</li> <li>2. Шлифовать внутренний опорный торец, выдержав размер <math>b_1^{80}</math>.</li> <li>3. Контроль 100%</li> </ol>	<p>Внутришлифовальный станок 3212A</p>	<p style="text-align: right;">▽ Ra 0,20</p> 
<p>0085 Плоскошлифовальная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить и закрепить заготовку.</li> <li>2. Шлифовать наружный опорный торец в размер <math>b_1</math>.</li> <li>3. Контроль 100%</li> </ol>	<p>Плоскошлифовальный RT-60. Комплект переходников магнитных</p>	<p style="text-align: right;">▽ Ra 0,20</p> 
<p>0090 Слесарная</p> <p>Размагнитить деталь</p>	<p>Слесарный верстак. Установка-демагнитизатор</p>	
<p>0095 Заточная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить и закрепить заготовку.</li> <li>2. Заточить по передней поверхности окончательно, выдерживая угол <math>\gamma</math>.</li> <li>3. Контроль 100%</li> </ol>	<p>Заточной DH AO-15 MicoCollette</p>	<p style="text-align: right;">▽ Ra 0,20</p> 
<p>0100 Круглошлифовальная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить и закрепить оправку с заготовкой.</li> <li>2. Шлифовать наружный диаметр <math>D^{100}</math>, выдерживая угол <math>\alpha_B</math> согласно чертежу.</li> <li>3. Контролировать 100%</li> </ol>	<p>Универсально-шлифовальный станок 3U12AF11</p>	<p style="text-align: right;">▽ Ra 0,40</p> 

Наименование и содержание операции	Станок. Приспособление	Технологический эскиз
<p>0105 Наладочная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить делительный диск и закрепить.</li> <li>2. Произвести настройку механизма деления.</li> <li>3. Установить и закрепить сектор обката.</li> <li>4. Установить разворот и подъем каретки.</li> <li>5. Настроить устройство для правки шлифовального круга.</li> <li>6. Проверить рабочие движения станка</li> </ol>	<p>Зубошлифовальный RFS-031. Диск делительный. Сектор обката</p>	<p>Наладка к операции 0110</p>
<p>0110 Зубошлифовальная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить и закрепить оправку с заготовкой.</li> <li>2. Шлифовать профиль зубьев, выдерживая размеры <math>S^{110}</math> и задний угол по боковым сторонам <math>\alpha_{\phi}</math> согласно чертежу.</li> <li>3. Контролировать 100%</li> </ol>	<p>Зубошлифовальный RFS-031. Диск делительный. Сектор обката</p>	
<p>0115 Зубошлифовальная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить и закрепить оправку с заготовкой.</li> <li>2. Шлифовать профиль зубьев окончательно, согласно чертежу.</li> <li>3. Контролировать 100%:</li> </ol> <ul style="list-style-type: none"> <li>- погрешность профиля зуба;</li> <li>- погрешность направления сторон зуба;</li> <li>- погрешность шага зубьев;</li> </ul>	<p>Зубошлифовальный RFS-031. Диск делительный. Сектор обката</p>	

Наименование и содержание операции	Станок. Приспособление	Технологический эскиз
- радиальное биение зубчатого венца; - задний угол по боковым сторонам $\alpha_6$		
0120 Слесарная Зачистить заусенцы	Слесарный стол	
0125 Контрольная 1. Контролировать параметры долбяка согласно чертежу. Контроль 100%. 2. Контролировать отсутствие заусенцев, забоин, прижогов. Контроль 100%		
0130 Нанесение покрытия Нанести покрытие TiAlN согласно чертежу	Установка для нанесения покрытия	
0135 Консервация		
0140 Упаковка		

Таблица 9.10

### Выбор инструментального обеспечения

Наименование операции	Инструмент режущий и вспомогательный	Инструмент контрольный
<i>005 Контрольная</i>		Штангенциркуль ШЦ-1-250-0,1 мм, ГОСТ 166-89
<i>0010 Токарная</i>	Сверло специальное с твердосплавными пластинами. Центровочное сверло, ГОСТ 10902-77	Штангенциркуль ШЦ-1-250-0,1 мм, ГОСТ 166-89
<i>0015 Наладочная</i>		Штангенциркуль ШЦ-1-250-0,1 мм, ГОСТ 166-89. Калибр-пробка. Нутромер индикаторный, ГОСТ 9384-60. Индикатор ИЧ 0-10-0,01, ГОСТ 577-68. Штатив магнитный ШМ-ПН, ГОСТ 10197-70
<i>0020 Токарная с ЧПУ</i>	Резец токарный MCLNR 2020 R12, фирмы Sandvik	Штангенциркуль ШЦ-1-250-0,1 мм, ГОСТ 166-89. Калибр-пробка. Нутромер индикаторный, ГОСТ 9384-60. Индикатор ИЧ 0-10-0,01, ГОСТ 577-68.

Наименование операции	Инструмент режущий и вспомогательный	Инструмент контрольный
		Штатив магнитный ШМ-ПН, ГОСТ 10197-70
0025 Наладочная	Резец токарный MCLNR 2020 R12, фирмы Sandvik	Микрометр типа МК, ГОСТ 6507-80. Индикатор ИЧ 0-10-0,01, ГОСТ 577-68. Штатив магнитный ШМ-ПН, ГОСТ 10197-70. Угломер, ГОСТ 5378-88
0030 Токарная с ЧПУ	Резец токарный MCLNR 2020 R12, фирмы Sandvik	Микрометр типа МК, ГОСТ 6507-80. Индикатор ИЧ 0-10-0,01, ГОСТ 577-68. Штатив магнитный ШМ-ПН, ГОСТ 10197-70. Угломер, ГОСТ 5378-88
0035 Наладочная	Резец токарный MCLNR 2020 K12, фирмы Sandvik	Угломер, ГОСТ 5378-88. Штангенциркуль ШЦ-1-250-0,1 мм, ГОСТ 166-89.
0040 Токарная с ЧПУ	Резец токарный MCLNR 2020 K12, фирмы Sandvik	Угломер, ГОСТ 5378-88. Штангенциркуль ШЦ-1-250-0,1 мм, ГОСТ 166-89
0045 Координатно-графическая	Калька бумажная, ГОСТ 892-89	
0050 Наладочная	Фреза червячная. Оправка на станок FWZ03	Штангензубомер типа 756, ГОСТ 163-41. Микрометр типа МЗ, ГОСТ 6507-80. Проектор V-24В. Увеличенный профиль зуба в масштабе 50:1, вычерченный на кальке
0055 Зубофрезерная с ЧПУ	Фреза червячная. Оправка	Штангензубомер типа 756, ГОСТ 163-41. Микрометр типа МЗ, ГОСТ 6507-80. Проектор V-24В. Увеличенный профиль зуба в масштабе 50:1, вычерченный на кальке
0060 Слесарная	Клейма шрифт № 4. Молоток	
0065 Термическая		Алмазный наконечник НК1 0,21–0,30 карат
0070 Плоскошлифовальная	Круг 1-350×40×127 90А60К5V. Правящий карандаш 3908-0081, ГОСТ 607-80	Контрольная плита, кл. 1, ГОСТ 10905-75. Индикатор ИГМ, тип I, ГОСТ 9696-61. Штатив магнитный ШМ-ПН, ГОСТ 10197-70. Профилометр Surfcorde SE500

Наименование операции	Инструмент режущий и вспомогательный	Инструмент контрольный
<i>0075 Внутршлифовальная</i>	Круг 1А130×32×20×5 ЛКВ40 80/63 СТ1К27 100%, ГОСТ 24747-90. Правящий карандаш 3908-0051, ГОСТ 607-80	Нутромер SOLEX. Пробка пневматическая. Кольцо эталонное. Индикатор ИГМ, тип I, ГОСТ 9696-61. Штатив магнитный ШМ-ПН, ГОСТ 10197-70. Профилметр Surfcoorder SE500
<i>0080 Внутршлифовальная</i>	Круг 1А1 40×32×20×5 ЛКВ40 160/125 С1К27 100%, ГОСТ 24747-90. Правящий карандаш 3908-0051, ГОСТ 607-80	Нутромер SOLEX. Пробка пневматическая. Кольцо эталонное. Индикатор ИГМ, тип I, ГОСТ 9696-61. Штатив магнитный ШМ-ПН, ГОСТ 10197-70. Профилметр Surfcoorder SE500
<i>0085 Плоскошлифовальная</i>	Круг 1А1 200×10×75×5 ЛКВ 160/125 СТ1 К 100%, ГОСТ 24747-90. Алмазный карандаш 3908-0081, ГОСТ 607-80	Контрольная плита, кл. 1, ГОСТ 10905-75. Индикатор ИГМ, тип I, ГОСТ 9696-61. Штатив магнитный ШМ-ПН, ГОСТ 10197-70. Профилметр Surfcoorder SE500
<i>0090 Слесарная</i>		
<i>0095 Заточная</i>	Шлифовальный круг 1А1 200×10×75×5 ЛКВ50 63/50 С1 КС10 100%, ГОСТ 24747-90. Алмазный карандаш 3908-0081, ГОСТ 607-80. Оправка	Контрольная плита, кл. 1, ГОСТ 10905-75. Индикатор ИГМ, тип I, ГОСТ 9696-61. Профилметр Surfcoorder SE500
<i>0100 Круглошлифовальная</i>	Шлифовальный круг 1-450×40×127 90А60К5V, ГОСТ Р 52781-2007. Алмазный карандаш 3908-0081, ГОСТ 607-80. Оправка	Контрольная плита, кл. 1, ГОСТ 10905-75. Индикатор ИГМ, тип I, ГОСТ 9696-61. Профилметр Surfcoorder SE500
<i>0105 Наладочная</i>	Шлифовальный круг 4-250×12/2×55 90А60К5V, ГОСТ Р 52781-2007. Алмаз в оправе 3908-0128,	Микрометр типа МЗ, ГОСТ 6507-80. Проектор V-24В. Увеличенный профиль зуба в масштабе 50:1, вычерченный на кальке. Контрольно-измерительная машина Hofler.



Наименование операции	Инструмент режущий и вспомогательный	Инструмент контрольный
	ГОСТ 22908-78. Оправка	Профилометр Surfscorder SE500
<i>0110 Зубо-шлифовальная</i>	Круг 4 250×12×55. 90A60K5V, ГОСТ Р 52781-2007. Алмаз в оправе 3908-0128, ГОСТ 2298-78. Оправка	Микрометр типа МЗ, ГОСТ 6507-60. Проектор V-24В. Увеличенный профиль зуба в масштабе 50:1, вычерченный на кальке. Контрольно-измерительная машина Hofler. Профилометр Surfscorder SE500
<i>0115 Зубо-шлифовальная</i>	Круг 4-250×12×55 90A60K5V, ГОСТ Р 52781-2007. Алмаз в оправе 3908-0128, ГОСТ 22908-78. Оправка	Микрометр типа МЗ, ГОСТ 6507-80. Проектор V-24В. Увеличенный профиль зуба в масштабе 50:1, вычерченный на кальке. Контрольно-измерительная машина Hofler. Профилометр Surfscorder SE500
<i>0120 Слесарная</i>	Щетка абразивно-полимерная	
<i>0125 Контрольная</i>	Оправка контрольная малой конусности	Микрометр типа МЗ, ГОСТ 6507-80. Проектор V-24В. Увеличенный профиль зуба в масштабе 50:1, вычерченный на кальке. Контрольно-измерительная машина Hofler. Диск обкаточный. Профилометр Surfscorder SE500
<i>0130 Нанесение покрытия</i>		
<i>0135 Консервация</i>		
<i>0140 Упаковка</i>		

#### 9.4. Типовой технологический процесс изготовления фрезы червячной насадной

Типовой технологический процес (табл. 9.11, 9.12) предназначен для изготовления фрезы червячной насадной с модулем от 1,0 до 8,0 мм (рис. 9.15). Фрезы изготавливаются из проката быстрорежущей стали, например стали Р6М5Ф3, с последующей поковкой. Применение стали, полученной электрошлаковым переплавом или методом порошковой металлургии, позволяет исключить операциюковки.

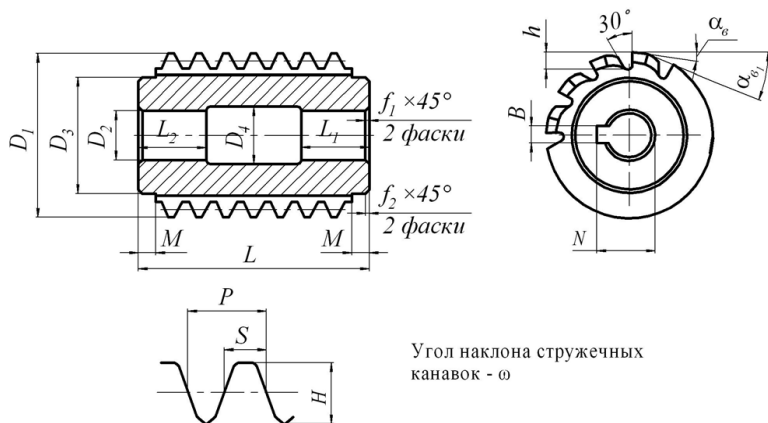


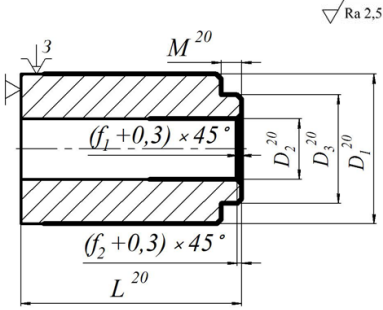
Рис. 9.15. Фреза червячная

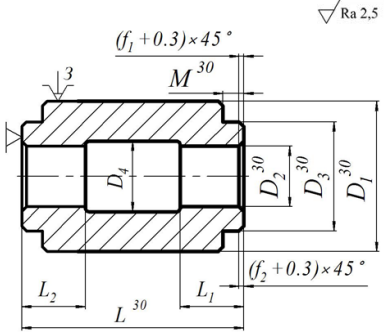
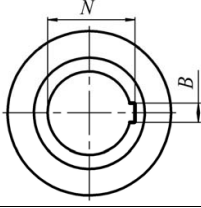
Наиболее высокие технические требования предъявляются к базовым поверхностям — отверстию и торцам, а также к параметрам зубчатого профиля фрезы.

Таблица 9.11

Технологический маршрут изготовления фрезы червячной

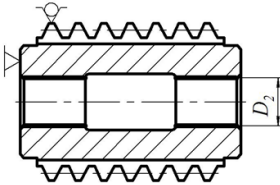
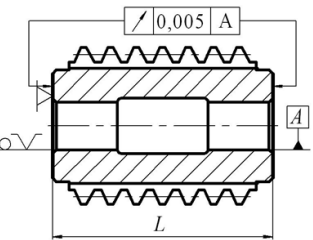
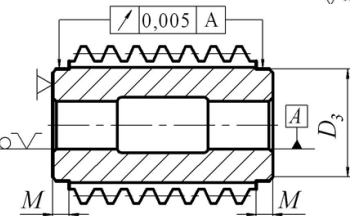
Наименование и содержание операции	Станок. Приспособление	Технологический эскиз
005 Контрольная 1. Приемка поковок. 2. Контролировать наличие документации, подтверждающей качество заготовок; марку материала; размеры заготовки по диаметру $D_1^{05}$ и длине $L^{05}$		
0010 Токарная 1. Установить и закрепить заготовку. 2. Точить торец «как чисто». 3. Точить наружный диаметр в размер $D_1^{10}$ до кулачков. 4. Сверлить отверстие в размер $D_2^{10}$ . 5. Контролировать 100%	Токарно-револьверный 1Е365БП. Трехкулачковый патрон, ГОСТ 2675-80	

Наименование и содержание операции	Станок. Приспособление	Технологический эскиз
<p>0015 Наладочная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разработать программу токарной обработки.</li> <li>2. Выставить режущий инструмент.</li> <li>3. Установить режимы обработки.</li> <li>4. Проверить рабочие движения станка.</li> </ol>	<p>Токарный с ЧПУ 16А20Ф3. Трехкулачковый патрон, ГОСТ 2675-80. Центр вращающийся КМ 5, ГОСТ 8742-75</p>	<p>Наладка к операции 0020</p>
<p>0020 Токарная с ЧПУ</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Заготовку выставить и закрепить.</li> <li>2. Подрезать торец, выдерживая размер <math>L^{20}</math>.</li> <li>3. Точить наружный диаметр до кулачков в размер <math>D_1^{20}</math>.</li> <li>4. Точить буртик, выдерживая длину <math>M^{20}</math> и диаметр <math>D_3^{20}</math>.</li> <li>5. Снять фаску <math>(f_1 + 0,3) \times 45^\circ</math>.</li> <li>6. Расточить отверстие <math>D_2^{20}</math> на <math>\frac{1}{2}</math> длины.</li> <li>7. Снять фаску <math>(f_2 + 0,3) \times 45^\circ</math>.</li> <li>8. Контролировать 100%</li> </ol>	<p>Токарный с ЧПУ 16А20Ф3. Трехкулачковый патрон, ГОСТ 2675-80</p>	 <p>The drawing shows a cylindrical part with a chamfered end. Key dimensions and features include: <ul style="list-style-type: none"> <li>Overall length: <math>L^{20}</math></li> <li>Chamfer angle: <math>45^\circ</math></li> <li>Outer diameter: <math>D_1^{20}</math></li> <li>Inner diameter: <math>D_2^{20}</math></li> <li>Chamfered diameter: <math>D_3^{20}</math></li> <li>Length of chamfered section: <math>M^{20}</math></li> <li>Surface texture symbol: <math>\nabla Ra 2,5</math></li> <li>Lead-in chamfer: <math>3</math></li> <li>Chamfered diameters: <math>(f_1 + 0,3) \times 45^\circ</math> and <math>(f_2 + 0,3) \times 45^\circ</math></li> </ul> </p>
<p>0025 Наладочная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разработать программу токарной обработки.</li> <li>2. Выставить режущий инструмент.</li> <li>3. Установить режимы обработки.</li> <li>4. Проверить рабочие движения станка</li> </ol>	<p>Токарный с ЧПУ 16А20Ф3. Трехкулачковый патрон, ГОСТ 2675-80</p>	<p>Наладка к операции 0030</p>

Наименование и содержание операции	Станок. Приспособление	Технологический эскиз
<p>0030 Токарная с ЧПУ</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Заготовку выставить и закрепить.</li> <li>2. Подрезать торец, выдерживая размер <math>L^{30}</math>.</li> <li>3. Точить наружный диаметр в размер <math>D_1^{30}</math>.</li> <li>4. Точить буртик, выдерживая длину <math>M^{30}</math> и диаметр <math>D_3^{30}</math>, и снять фаску <math>(f_1 + 0,3) \times 45^\circ</math>.</li> <li>5. Расточить отверстие в размер <math>D_2^{30}</math>, и снять фаску <math>(f_2 + 0,3) \times 45^\circ</math>.</li> <li>6. Расточить выборку <math>D_4</math> согласно чертежу.</li> <li>7. Контролировать 100%</li> </ol>	<p>Токарный с ЧПУ 16А20Ф3. Трехкулачковый патрон, ГОСТ 2675-63</p>	
<p>0035 Протяжная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить и закрепить заготовку.</li> <li>2. Протянуть шпоночный паз, выдержав размеры <math>N</math>, <math>B</math> согласно чертежу.</li> <li>3. Контролировать 100%</li> </ol>	<p>Горизонтально-протяжной 7Б520А. Приспособление для протягивания пазов. Адаптер</p>	
<p>0040 Координатно-графическая</p> <p>Вычертить профиль зуба в масштабе 20:1.</p>	<p>Установка для вычерчивания профилей «Аристо»</p>	
<p>0045 Наладочная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить оправку и закрепить.</li> <li>2. Выполнить расчёт гитары сменных шестерён, установить и закрепить.</li> <li>3. Проверить рабочие движения станка</li> </ol>	<p>Шлицефрезерный ZFWVG-250.</p>	<p>Наладка к операции 0050</p>

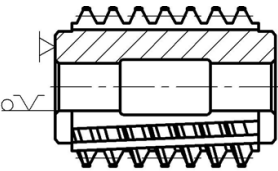
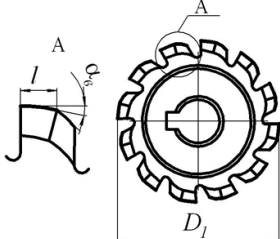

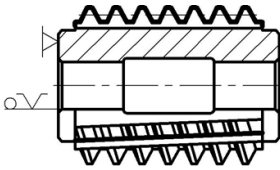
Наименование и содержание операции	Станок. Приспособление	Технологический эскиз
<p>0050 Шлицефрезерная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить оправку с заготовкой и закрепить.</li> <li>2. Фрезеровать профиль, выдерживая: осевой шаг <math>P^{50}</math> согласно чертежу, толщину зуба по средней линии <math>S^{50}</math>, высоту зуба <math>H^{50}</math>.</li> <li>3. Контролировать 100%</li> </ol>	Шлицефрезерный ZFWVG-250	
<p>0055 Наладочная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить оправку и закрепить.</li> <li>2. Выполнить расчёт гитары сменных шестерен, установить и закрепить</li> </ol>	Фрезерный 6Т82. Головка дели- тельная УДГ-Д250	Наладка к операции 0060
<p>0060 Фрезерная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить оправку с заготовкой, закрепить, поджать центром.</li> <li>2. Фрезеровать стружечные канавки, выдерживая глубину <math>h^{60}</math>, угол <math>30^\circ</math>, угол <math>\omega</math> согласно чертежу.</li> <li>3. Контролировать 100%: <ul style="list-style-type: none"> <li>– отклонение передней поверхности от номинального положения в сторону поднутрения;</li> <li>– накопленную погрешность окружных шагов на <math>180^\circ</math></li> </ul> </li> </ol>	Фрезерный 6Т82. Головка дели- тельная УДГ-Д250	
<p>0065 Наладочная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить оправку с заготовкой, закрепить.</li> <li>2. Выполнить расчёт гитары сменных шестерен.</li> <li>3. Установить и закрепить шестерни.</li> <li>4. Установить и закрепить резец.</li> <li>5. Проверить рабочие движения станка</li> </ol>	Токарно- затыловочный UHDA-10	Наладка к операции 0070

Наименование и содержание операции	Станок. Приспособление	Технологический эскиз
<p>0070 Токарно-затыловочная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить оправку с заготовкой, закрепить.</li> <li>2. Затыловать по наружному диаметру, выдерживая размеры <math>l_6^{70}</math> и углы <math>\alpha_v</math> и <math>\alpha_{v1}</math>.</li> <li>3. Контролировать 100%: угол <math>\alpha_v</math> и <math>\alpha_{v1}</math></li> </ol>	Токарно-затыловочный УНДА-10	
<p>0075 Токарно-затыловочная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить оправку с заготовкой, закрепить.</li> <li>2. Затыловать профиль зубьев с припуском под шлифование.</li> <li>3. Контролировать 100%: осевой шаг <math>P</math>; высоту <math>H^{75}</math>; толщину зуба <math>S^{75}</math>, задние углы по боковым сторонам.</li> <li>4. Контролировать первую деталь при каждой переналадке</li> </ol>	Токарно-затыловочный УНДА-10. Оправка	
<p>0080 Фрезерная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить оправку с заготовкой, закрепить.</li> <li>2. Фрезеровать неполные витки в размер 0,5m согласно чертежу.</li> <li>3. Контролировать 100%</li> </ol>	Вертикально-фрезерный 6М13ПА	
<p>0085 Термическая Закалить HRC 62...64</p>	Твердомер ТК-2	
<p>0090 Круглошлифовальная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить оправку с заготовкой, закрепить.</li> <li>2. Шлифовать торцы, выдерживая размер <math>L^{90}</math>, обеспечив непараллельность 0,02 мм.</li> <li>3. Контролировать 100%</li> </ol>	Шлифовальный 3У12АФ11	

Наименование и содержание операции	Станок. Приспособление	Технологический эскиз
0095 Внутришлифовальная 1. Установить, выставить заготовку, закрепить. 2. Шлифовать отверстие в размер $D_2$ , согласно чертежу. 3. Контролировать 100%	Внутришлифовальный 3212А. Приспособление для шлифования (планшайба)	 <p style="text-align: right;">√ Ra 0,40</p>
0100 Круглошлифовальная 1. Установить и закрепить оправку с заготовкой. 2. Шлифовать торцы, выдерживая размер $L$ , согласно чертежу, обеспечив непараллельность 0,005 мм. 3. Контролировать 100%	Шлифовальный 3U12AF11	 <p style="text-align: right;">√ Ra 0,20</p>
0105 Круглошлифовальная 1. Установить и закрепить оправку с заготовкой. 2. Шлифовать буртики, выдерживая размеры $M$ , $D_3$ , обеспечив биение не более 0,005 мм, согласно чертежу. 3. Контролировать 100%	Шлифовальный 3U12AF11	 <p style="text-align: right;">√ Ra 0,20</p>
0110 Наладочная 1. Установить и закрепить оправку. 2. Выполнить наладку станка. 3. Установить делительный диск. 4. Установить угол на направляющей линейке. 5. Установить угол наклона шлифовальной головки	Заточной для червячных фрез ВЗ-531 Ф-4-04	<p style="text-align: center;">Наладка к операции 0120</p>

Наименование и содержание операции	Станок. Приспособление	Технологический эскиз
<p>0115 Заточная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить оправку с заготовкой, закрепить.</li> <li>2. Заточить по передней поверхности предварительно.</li> <li>3. Контролировать 100%</li> </ol>	<p>Заточной для червячных фрез ВЗ-531 Ф-4-04</p>	
<p>0120 Наладочная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить и закрепить оправку.</li> <li>2. Выполнить расчёт гитары сменных шестерен.</li> <li>3. Установить и закрепить шестерни.</li> <li>4. Настроить приспособление для правки круга шлифовального круга.</li> <li>5. Установить и закрепить шлифовальный круг</li> </ol>	<p>Шлифовально-затыловочный УНДА-20. Приспособление для правки круга</p>	<p>Наладка к операции 0135</p>
<p>0125 Шлифовально-затыловочная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить оправку с заготовкой, закрепить.</li> <li>2. Затыловать по наружному диаметру, выдерживая размеры <math>D_i^{125}</math>, <math>l_6^{125}</math> и угол <math>\alpha_b</math>.</li> <li>3. Контролировать 100%</li> </ol>	<p>Шлифовально-затыловочный УНДА-20. Приспособление для правки круга</p>	
<p>0130 Шлифовально-затыловочная</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить оправку с заготовкой, закрепить.</li> <li>2. Шлифовать профиль зубьев предварительно, выдерживая размеры <math>S_e^{135}</math>, P и задний угол <math>\alpha_b</math>.</li> <li>3. Контролировать 100%</li> </ol>	<p>Шлифовально-затыловочный УНДА-20. Приспособление для правки круга</p>	



Наименование и содержание операции	Станок. Приспособление	Технологический эскиз
<p>0135 Шлифовально-затыловочная</p> <p>1. Установить оправку с заготовкой, закрепить.</p> <p>2. Шлифовать профиль зубьев окончательно, выдерживая размеры <math>S</math>, <math>P</math> и угол <math>\alpha_n</math> согласно чертежу.</p> <p>3. Контролировать 100%</p>	<p>Шлифовально-затыловочный УНДА-20.</p> <p>Приспособление для правки круга</p>	 <p style="text-align: right;">√ Ra 0,30</p>
<p>0140 Шлифовально-затыловочная</p> <p>1. Установить оправку с заготовкой, закрепить.</p> <p>2. Затыловать по наружному диаметру выдерживая размеры <math>D_1</math>, <math>l_8</math> и угол <math>\alpha_n</math> согласно чертежу.</p> <p>3. Контролировать 100%</p>	<p>Шлифовально-затыловочный УНДА-20.</p> <p>Приспособление для правки круга</p>	 <p style="text-align: right;">√ Ra 0,20</p>
<p>0145 Шлифовально-затыловочная</p> <p>1. Установить оправку с заготовкой, закрепить.</p> <p>2. Шлифовать радиус <math>r_1</math> согласно чертежу.</p> <p>3. Шлифовать радиус <math>r_2</math> согласно чертежу.</p> <p>3. Контролировать 100%</p>	<p>Шлифовально-затыловочный УНДА-20.</p> <p>Приспособление для правки круга</p>	 <p style="text-align: right;">√ Ra 0,20</p>
<p>0150 Заточная</p> <p>1. Установить оправку с заготовкой, закрепить.</p> <p>2. Заточить по передней поверхности окончательно согласно чертежу.</p> <p>3. Контролировать 100%:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- отклонение передней поверхности в сторону поднутрения, согласно чертежу;</li> <li>- накопленную погрешность окружных шагов стружечных канавок на 180° согласно чертежу</li> </ul>	<p>Заточной для червячных фрез В3-531 Ф-4-04</p>	 <p style="text-align: right;">√ Ra 0,20</p>

Наименование и содержание операции	Станок. Приспособление	Технологический эскиз
0155 Маркировочная 1. Маркировать согласно чертежу. 2. Контролировать 100%	Лазерный маркирующий комплекс D Mark 0,6RL	
0160 Слесарная 1. Установить оправку с заготовкой, закрепить. 2. Установить приспособление на суппорт станка. 3. Зачистить заусенцы. 4. Контроль 100%	Шлифовально-затыловочный UHDA-20. Приспособление для зачистки заусенцев	
0165 Нанесение покрытия Нанести покрытие согласно чертежу	Установка для нанесения покрытий	
0170 Контрольная 1. Установить оправку с заготовкой, закрепить. 2. Контролировать параметры червячной фрезы согласно чертежу. 3. Контролировать отсутствие заусенцев, забоин, прижогов. 4. Контроль 100%	Шлифовально-затыловочный UHDA-20	
0175 Консервация, упаковка	Тара для червячных фрез	

Таблица 9.12

Выбор инструментального обеспечения

Наименование операции	Инструмент режущий и вспомогательный	Инструмент контрольный
005 Контрольная		Штангенциркуль ШЦ-1-250-0,1, ГОСТ 166-89
0010 Токарная	Резец проходной, ГОСТ 18879-73. Сверло специальное с твердосплавными пластинами	Штангенциркуль ШЦ-1-250-0,1, ГОСТ 166-89
0015 Наладочная	Резец проходной, ГОСТ 18879-73.	Штангенциркуль ШЦ-1-250-0,1, ГОСТ 166-89

Наименование операции	Инструмент режущий и вспомогательный	Инструмент контрольный
	Резец расточной с трехгранной пластиной, ГОСТ 18879-73	
0020 Токарная с ЧПУ	Резец проходной, ГОСТ 18879-73. Резец расточной с трехгранной пластиной, ГОСТ 18879-73	Штангенциркуль ШЦ1-250-0,1, ГОСТ 166-89
0025 Наладочная	Резец проходной, ГОСТ 18879-73. Резец расточной с трехгранной пластиной, ГОСТ 18879-73	Штангенциркуль ШЦ1-250-0,1, ГОСТ 166-89
0030 Токарная с ЧПУ	Резец проходной, ГОСТ 18879-73. Резец расточной с трехгранной пластиной, ГОСТ 18879-73	Штангенциркуль ШЦ1-250-0,1, ГОСТ 166-89
0035 Протяжная	Протяжка	Калибр на шпоночный паз
0040 Координатно-графическая	Калька бумажная, ГОСТ 892-89	
0045 Наладочная	Фреза дисковая. Оправка	Штангензубомер типа 756, ГОСТ 163-41. Проектор V-24В. Увеличенный профиль зуба в масштабе 20:1, вычерченный на кальке
0050 Шлицефрезерная	Фреза дисковая профильная. Оправка	Штангензубомер типа 756, ГОСТ 163-41. Проектор V-24В. Увеличенный профиль зуба в масштабе 20:1, вычерченный на кальке
0055 Наладочная	Фреза для фрезерования стружечных канавок. Оправка	Прибор для контроля передней поверхности Klingelberg-PWF300. Прибор для контроля направления стружечных канавок KAPP. Набор концевых мер длины
0060 Фрезерная	Фреза для фрезерования стружечных канавок. Оправка	Прибор для контроля передней поверхности Klingelberg-PWF300.

Наименование операции	Инструмент режущий и вспомогательный	Инструмент контрольный
		Прибор для контроля направления стружечных канавок КАРР. Набор концевых мер длины
0065 Наладочная	Резец. Центр вращающийся КМ 5, ГОСТ 8742-75. Оправка	Штангензубомер типа 756, ГОСТ 163-41. Проектор V-24В. Увеличенный профиль зуба в масштабе 20:1, вычерченный на кальке
0070 Токарно-затыловочная	Резец затыловочный. Центр вращающийся КМ 5, ГОСТ 8742-75. Оправка	Штангензубомер типа 756, ГОСТ 163-41. Проектор V-24В. Калька бумажная, ГОСТ 892-89. Угломер УН, ГОСТ 5378-88
0075 Токарно-затыловочная	Резец затыловочный. Центр вращающийся КМ 5, ГОСТ 8742-75	Штангензубомер типа 756. ГОСТ 163-41. Проектор V-24В. Калька бумажная, ГОСТ 892-89. Угломер УН, ГОСТ 5378-66
0080 Фрезерная	Фреза концевая, ГОСТ 1725-71. Оправка	Штангенциркуль ШЦ-1-250-0,1, ГОСТ 166-89
0085 Термическая		Алмазный наконечник НК1 0,21–0,30 карат
0090 Круглошлифовальная	Шлифовальный круг 1-400×40×127 25А6017V, ГОСТ Р 52781-2007. Правящий карандаш 3908-0051, ГОСТ 607-80. Оправка цанговая	Индикатор, тип 1 ИГМ, ГОСТ 577-68. Штатив магнитный ШМ-ПН, ГОСТ 10197-70
0095 Внутришлифовальная	Шлифовальный круг 1А1-50×40×20×5 ЛКВ40 160/125 С1 К 100%, ГОСТ 24747-90	Нутрометр SOLEX. Пробка пневматическая. Кольцо эталонное. Профилометр Surfscorder SE500
0100 Круглошлифовальная	Шлифовальный круг 1-350×40×127 25А 6017V, ГОСТ Р 52781-2007. Правящий карандаш 3908-0051, ГОСТ 607-80. Оправка для шлифования	Индикатор, тип 1 ИГМ, ГОСТ 577-68. Штатив магнитный ШМ-ПН, ГОСТ 10197-70. Профилометр Surfscorder SE500
0105 Круглошлифовальная	Шлифовальный круг 1-350×40×127 25А 6017V, ГОСТ Р 52781-2007. Правящий карандаш	Микрометр, типа МК, ГОСТ 6507-80. Индикатор, тип 1 ИГМ ГОСТ 577-68.

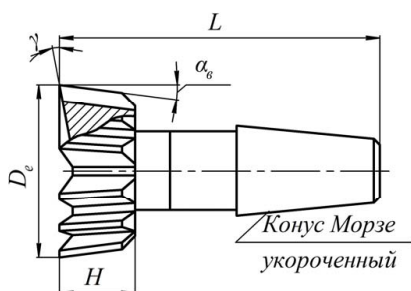
Наименование операции	Инструмент режущий и вспомогательный	Инструмент контрольный
	3908-0051, ГОСТ 607-80. Оправка для шлифования, биение оправки не более 0,002 мм	Профилометр Surfcoorder SE500. Штатив магнитный ШМ-ПН, ГОСТ 10197-70
<i>0110 Наладочная</i>	Оправка	
<i>0115 Заточная</i>	Шлифовальный круг 12 300×20×50,8 25А 60I6V, ГОСТ Р 52781-2007. Алмаз в оправе 3908-0128, ГОСТ 22907-78. Оправка для заточки	Прибор для контроля передней поверхности Klingelnberg-PWF300. Прибор для контроля направления стружечных канавок KAPP. Индикатор, тип 1 ИГМ, ГОСТ 9696-61. Профилометр Surfcoorder SE500
<i>0120 Наладочная</i>	Шлифовальный круг 1А1-50×10×16×5 ЛКВ40 63/50 С1К27 100%. Алмаз в оправе 3908-0128, ГОСТ 2298-78. Оправка	Проектор V-24В. Увеличенный профиль зуба в масштабе 20:1, вычерченный на кальке. Микрометр МЗ, ГОСТ 6507-90
<i>0125 Шлифовально-затыловочная</i>	Шлифовальный круг 1А1-50×10×16×5 ЛКВ40 63/50 С1 К 100%, ГОСТ 24747-90. Оправка	Проектор V-24В. Увеличенный профиль зуба в масштабе 20:1, вычерченный на кальке. Микрометр МЗ, ГОСТ 6507-90
<i>0130 Шлифовально-затыловочная</i>	Шлифовальный круг 1D1-80×13×13×16×2 ЛКВ50 160/125 С1КС10 150%, ГОСТ 24747-90. Алмаз в оправе 3908-0128, ГОСТ 22908-78. Оправка для шлифования	Проектор V-24В. Увеличенный профиль зуба в масштабе 20:1, вычерченный на кальке. Микрометр МЗ, ГОСТ 6507-90. Прибор для контроля отклонения винтовой линии зубьев SU-250. Профилометр Surfcoorder SE500
<i>135 Шлифовально-затыловочная</i>	Шлифовальный круг 1D1-80×13×13×16×2 ЛКВ50 63/50 СМ2КС10 100%, ГОСТ 24747-90. Алмаз в оправе 3908-0128, ГОСТ 22908-78. Оправка для шлифования	Проектор V-24В. Увеличенный профиль зуба в масштабе 20:1, вычерченный на кальке. Прибор для контроля отклонения винтовой линии зубьев SU-250. Профилометр Surfcoorder SE500
<i>0140 Шлифовально-затыловочная</i>	Шлифовальный круг 1D1-80×13×13×16×2 ЛКВ40 63/50 СМ2КС10 100%,	Проектор V-24В. Прибор для контроля передней поверхности Klingelnberg-PWF300.

Наименование операции	Инструмент режущий и вспомогательный	Инструмент контрольный
	ГОСТ 24747-90. Алмазный карандаш 3908-0064, ГОСТ 22098-78. Оправка для шлифования	Увеличенный профиль зуба в масштабе 20:1, вычерченный на кальке. Профилометр Surfcoorder SE500
<i>145 Шлифовально-заточная</i>	Шлифовальный круг 1D1-80×13×13×16×2 ЛКВ40 63/50 С1 27 100%, ГОСТ 24747-90. Накатной ролик для профилирования круга. Оправка для шлифования	Проектор V-24В. Увеличенный профиль зуба в масштабе 20:1, вычерченный на кальке. Прибор для контроля отклонения винтовой линии зубьев SU-250
<i>0150 Заточная</i>	Шлифовальный круг 12 300×20×50, 825A60K6V, ГОСТ Р 52781-2007. Алмаз в оправе 3908-0128, ГОСТ 22908-78. Оправка для заточки	Прибор для контроля передней поверхности Klingelberg-PWF300. Прибор для контроля направления стружечных канавок KAPP. Индикатор, тип 1 ИГМ, ГОСТ 577-68. Штатив магнитный ШМ-ПН, ГОСТ 10197-70. Профилометр Surfcoorder SE500
<i>0155 Маркировочная</i>		
<i>0160 Следсарная</i>	Щетка абразивно-полимерная. Оправка	
<i>0165 Нанесение покрытия</i>		
<i>0170 Контрольная</i>		Прибор для контроля передней поверхности Klingelberg-PWF300. Прибор для контроля направления стружечных канавок KAPP. Прибор для контроля отклонения винтовой линии зубьев SU-250. Индикатор, тип 1 ИГМ, ГОСТ 577-68. Штатив магнитный ШМ-ПН, ГОСТ 10197-70. Проектор V-24В. Увеличенный профиль зуба в масштабе 20:1, вычерченный на кальке

Наименование операции	Инструмент режущий и вспомогательный	Инструмент контрольный
0175 Консервация, упаковка		

## 9.5. Типовые технологические маршруты изготовления инструментов

### 9.5.1. Долбяк зуборезный хвостовой



#### Рабочая часть долбяка

Материал: сталь Р6М5Ф3

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции
005	Заготовительная	Отрезать заготовку
010	Кузнечная	Отковать заготовку
015	Термическая	Отжечь заготовку
020	Дробеструйная	Очистить заготовку
025	Токарная	Подрезать торец и обточить уступ

#### Хвостовая часть долбяка

Материал: сталь 40Х

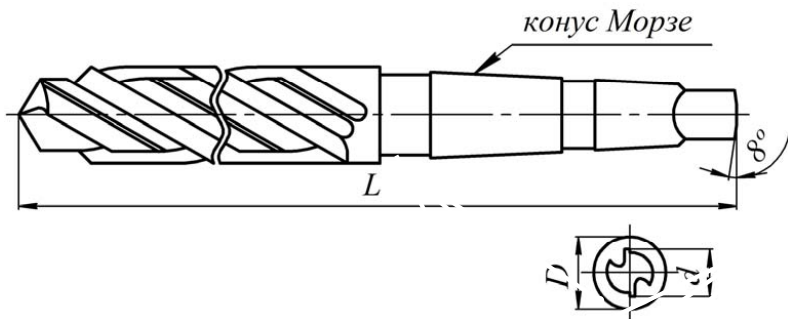
Номер операции	Наименование операции	Содержание операции
005	Заготовительная	Отрезать заготовку
010	Дробеструйная	Очистить заготовку

*Долбяк зуборезный (сборочная единица)*

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции
005	Сварочная	Сварить заготовки встык
010	Отжиг	
015	Токарная	Обточить грат
020	Токарная	Подрезать торцы и центровать с двух сторон
025	Токарная с ЧПУ	Обточить конус Морзе, обточить шейку с припуском под шлифование, снять фаску
030	Токарная с ЧПУ	Обточить рабочую часть по наружному диаметру $D$ на конус под углом $6^\circ$ , обточить торец под углом $5^\circ$ с припуском под шлифование
035	Фрезерная	Фрезеровать профиль зубьев
040	Слесарная	Зачистить заусенцы
045	Термическая	Закалить
050	Дробеструйная	Очистить заготовку
055	Шлифовальная	Шлифовать диаметр рабочей части заготовки, выдерживая задний угол $\alpha_v$ , предварительно
060	Шлифовальная	Шлифовать конус Морзе
065	Шлифовальная	Шлифовать шейку
070	Шлифовальная	Шлифовать профиль зубьев, предварительно
075	Шлифовальная	Шлифовать профиль зубьев окончательно
080	Шлифовальная	Шлифовать диаметр рабочей части, выдерживая задний угол $\alpha_v$ , окончательно
085	Заточная	Заточить зубья по передней поверхности предварительно, выдерживая угол $\gamma$
090	Маркировать	
095	Полировочная	Полировать профиль зубьев
100	Заточная	Заточить зубья по передней поверхности окончательно, выдерживая угол $\gamma$
105	Нанесение покрытия	
110	Контрольная	
115	Консервация	
120	Упаковочная	



### 9.5.2. Сверло ступенчатое



#### *Режущая часть сверла*

Материал: сталь Р6М5

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции
005	Заготовительная	Отрезать заготовку
010	Токарная	Точить шейку под сварку
015	Дробеструйная	Очистить заготовку

#### *Хвостовая часть сверла*

Материал: сталь 40Х

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции
005	Заготовительная	Отрезать заготовку
010	Дробеструйная	Очистить заготовку

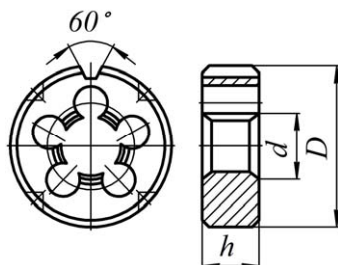
#### *Сверло ступенчатое (сборочная единица)*

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции
005	Сварка	Сварка заготовок встык
010	Термическая	Отжечь
015	Дробеструйная	Очистить заготовку
020	Токарная	Обточить грат
025	Рихтовка	Рихтовать
030	Токарная	Торцевать с двух сторон
035	Токарная	Центровать с двух сторон
040	Токарная	Точить базу

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции
045	Токарная	Точить хвостовик с припуском 0,4...0,5 мм
050	Токарная	Точить угол 8° на лапке
055	Токарная	Точить с припуском 0,4...0,5 мм
060	Токарная	Точить малую ступень с припуском 0,4...0,5 мм, фаски в размер, обточить технологический центр
065	Фрезерная	Фрезеровать основную канавку
070	Фрезерная	Фрезеровать скрытый зуб
075	Фрезерная	Фрезеровать затылки на большом диаметре
080	Фрезерная	Фрезеровать лапку
085	Маркировочная	Маркировать
090	Слесарная	Снять заусенцы
095	Слесарная	Рихтовать
100	Контрольная	
105	Термическая	Закалить
110	Центрошлифовальная	Шлифовать центры
115	Заточная	Полировать канавки абразивным инструментом сухим способом
120	Заточная	Заточить переднюю поверхность на двух ступенях абразивным инструментом сухим способом
125	Круглошлифовальная	Шлифовать конус Морзе
120	Круглошлифовальная	Шлифовать большой диаметр предварительно
125	Круглошлифовальная	Шлифовать по малому диаметру предварительно
130	Заточная	Шлифовать скрытый зуб, абразивным инструментом сухим способом
135	Круглошлифовальная	Шлифовать занижение на режущей части для выхода круга
140	Круглошлифовальная	Шлифовать большой диаметр окончательно
145	Токарно-затыловочная	Затыловать по малому диаметру и фаске предварительно абразивным инструментом сухим способом
150	Шлифовально-затыловочная	Затыловать по малому диаметру и фаске окончательно
155	Заточная	Отрезать технологический центр

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции
160	Заточная	Заточить по задней поверхности предварительно
165	Заточная	Заточить по задней поверхности окончательно
170	Заточная	Выполнить подточку абразивным инструментом сухим способом
175	Контрольная	
180	Консервация	
185	Упаковочная	

### 9.5.3. Плашки круглые для метрической резьбы

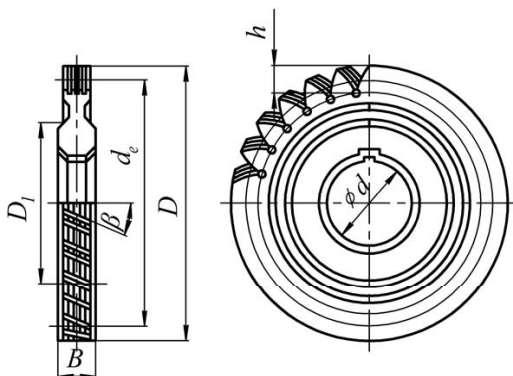


Материал: сталь 9ХС

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции
005	Заготовительная	Отрезать заготовку
010	Токарная	Подрезать торец, зацентрировать с одной стороны, обточить диаметр $D$ с припуском под шлифование, подрезать поштучно, снять фаски, сверлить отверстие
015	Токарная	Подрезать торец, расточить отверстие, расточить заборный конус
020	Токарная	Подрезать другой торец с припуском под шлифование, расточить заборный конус, развернуть отверстие, нарезать резьбу
025	Фрезерная	Фрезеровать паз под угол $60^\circ$
030	Сверлильная	Сверлить стружечные и крепежные отверстия
035	Слесарная	Запилить стружечные отверстия, снять фаски
040	Затыловочная	Затыловать заборный конус
045	Слесарная	Калибровать резьбу метчиком

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции
050	Термическая	Закалить
055	Термическая	Произвести отпуск перемычки
060	Дробеструйная	Очистить от окалины
065	Шлифовальная	Шлифовать наружный диаметр в размер $D$
070	Шлифовальная	Шлифовать торцы в размер $h$
075	Заточная	Заточить режущие поверхности с двух сторон
080	Доводочная	Довести резьбу
085	Маркировочная	Маркировать
090	Контрольная	
095	Консервация	
100	Упаковочная	

#### 9.5.4. Шеверы дисковые

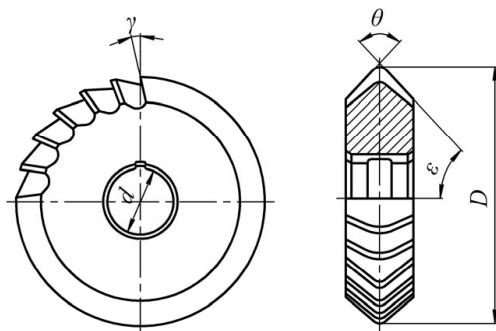


Материал: сталь Р6М5Ф3

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции
005	Заготовительная	Отрезать заготовку
010	Кузнечная	Отковать заготовку с отверстием
015	Отжиг	
020	Дробеструйная	Очистить заготовку
025	Токарная	Подрезать торец, расточить отверстие, предварительно обточить наружную поверхность

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции
030	Токарная	Подрезать другой торец, расточить отверстие, предварительно обточить наружную поверхность
035	Токарная	Подрезать торец, занижение на торце, расточить отверстие с припуском под развертывание и шлифование, снять фаску, развернуть отверстие, расточить выточку на торце
040	Токарная	Подрезать торец, обточить занижение на торце, снять фаску по отверстию, расточить выточку на торце
045	Токарная	Обточить наружную поверхность
050	Шлифовальная	Шлифовать торцы предварительно
055	Шлифовальная	Шлифовать наружную поверхность
060	Протяжная	Протянуть шпоночный паз
065	Фрезерная	Фрезеровать профиль зубьев
070	Сверлильная	Сверлить отверстия между зубьями
075	Долбежная	Долбить канавки на зубьях с одной стороны
080	Долбежная	Долбить канавки на зубьях с одной стороны
085	Термическая	Закалить
090	Дробеструйная	Очистить заготовки
095	Шлифовальная	Шлифовать торец окончательно
100	Шлифовальная	Шлифовать другой торец окончательно
105	Шлифовальная	Шлифовать отверстие
110	Доводочная	Довести отверстие
115	Шлифовальная	Шлифовать профиль зубьев предварительно
120	Шлифовальная	Шлифовать профиль зубьев окончательно
125	Контролировать	
130	Маркировочная	
135	Нанесение покрытия	
140	Контрольная	
145	Консервация	
150	Упаковочная	

### 9.5.5. Фрезы двухугловые симметричные

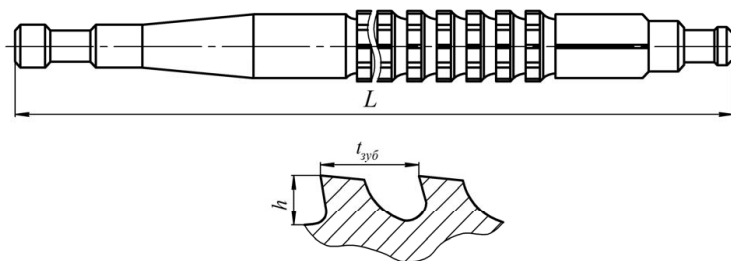


Материал: сталь Р6М5Ф3

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции
005	Заготовительная	Отрезать заготовку
010	Галтовочная	Очистить в галтовочном барабане
015	Токарная	Подрезать торец с припуском под шлифование, сверлить отверстие, расточить отверстие с припуском под шлифование, расточить выточку, снять фаску, предварительно обточить наружную поверхность до кулачков
020	Токарная	Подрезать другой торец с припуском под шлифование, снять фаску в отверстии, обточить оставшуюся часть наружной поверхности
125	Токарная	Обточить наружную поверхность на конус с одной стороны, выдерживая угол $\epsilon$
030	Токарная	Обточить на конус с другой стороны, выдерживая угол $\epsilon$
035	Протяжная	Протянуть шпоночный паз в размер согласно чертежу
040	Слесарная	Снять заусенцы и фаску у шпоночного паза
045	Фрезерная	Фрезеровать зубья по конусу с одной стороны
050	Фрезерная	Фрезеровать зубья по конусу с другой стороны
055	Слесарная	Снять заусенцы
060	Маркировочная	Клеймить
065	Термическая	Закалить
070	Дробеструйная	Очистить заготовку
075	Шлифовальная	Шлифовать торец
080	Шлифовальная	Шлифовать другой торец

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции
085	Шлифовальная	Шлифовать отверстие окончательно
090	Заточная	Заточить переднюю поверхность зубьев по конусу с одной стороны
095	Заточная	Заточить переднюю поверхность зубьев по конусу с другой стороны
100	Шлифовальная	Шлифовать конус с одной стороны
105	Шлифовальная	Шлифовать конус с другой стороны
110	Заточная	Заточить заднюю поверхность зубьев по конусу с одной стороны
115	Заточная	Заточить заднюю поверхность зубьев по конусу с другой стороны
120	Заточная	Заточить радиус на зубьях
125	Термическая	Карбонитрировать
130	Контрольная	
135	Консервация	
140	Упаковочная	

### 9.5.6. Протяжка шлицевая



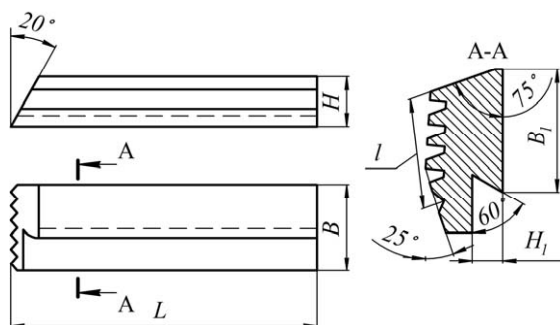
Материал: сталь Р6М5Ф3

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции
005	Заготовительная	Отрезать заготовку
010	Фрезерная	Торцевать, центровать
015	Рихтовочная	Отрихтовать заготовку
020	Термическая	Отпустить
025	Токарная	Обточить наружный диаметр, заднее направление, замковую часть, снять фаски
030	Токарная	Обточить замковую часть и шейку со стороны заднего направления
035	Токарная	Обточить диаметр рабочей части на конус

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции
040	Токарная	Обточить заходный конус
045	Токарная	Обточить переднее направление и диаметры калибрующих частей
050	Токарная	Обточить зубья по переднему углу и спинке с шагом $t$
055	Термическая	Закалить
060	Центрошлифовальная	Зачистить центры
065	Заточная	Заточить переднюю поверхность и спинку зубьев предварительно
070	Шлифовальная	Шлифовать место под люнет, замковую часть со стороны переднего направления, заднее направление, переднее направление, замковую часть со стороны заднего направления
075	Шлифовальная	Шлифовать диаметры фасочных, шлицевых и круглых зубьев по конусу
080	Шлифовальная	Шлифовать заходный конус
085	Шлифовальная	Шлифовать по диаметру каждый зуб в размер
090	Шлифовальная	Шлифовать калибрующие зубья, круглые и шлицевые
095	Шлифовальная	Шлифовать черновые и переходные зубья по заднему углу
100	Шлифовальная	Шлифовать чистовые зубья по заднему углу
105	Шлифовальная	Шлифовать калибрующие зубья по заднему углу
110	Шлифовальная	Шлифовать шлицы и поднутрения по шлицам
115	Шлифовальная	Шлифовать шлицы на фасочных зубьях
120	Шлифовальная	Шлифовать выкружки на фасочных и шлицевых зубьях
125	Заточная	Заточить переднюю поверхность и спинки зубьев окончательно
130	Доводная	Довести заднюю поверхность зубьев
135	Маркировочная	
140	Контрольная	
145	Консервация	
150	Упаковочная	



### 9.5.7. Гребенка резьбонарезная плоская

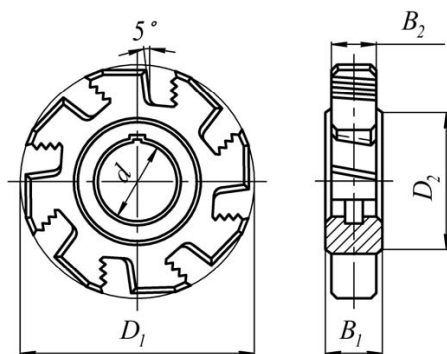


Материал: сталь Р6М5

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции
005	Заготовительная	Отрезать заготовку
010	Фрезерная	Фрезеровать плоскости в размер с четырех сторон
015	Шлифовальная	Шлифовать под прямой угол плоскости в размер $H$ и $B$ с припуском под шлифование
020	Фрезерная	Фрезеровать уступ в размер $H_1$ с углом $60^\circ$ и с припуском под шлифование в размер $B_1$
025	Строгальная	Строгать канавку
030	Токарная	Разрезать заготовку на две гребенки
035	Фрезерная	Фрезеровать заднюю поверхность под угол $20^\circ$
040	Слесарная	Снять заусенцы
045	Фрезерная	Фрезеровать резьбу
050	Маркировочная	Маркировать
055	Слесарная	Снять заусенцы
060	Термическая	Закалить
065	Дробеструйная	Очистить
070	Шлифовальная	Шлифовать плоскость противоположную резьбе
075	Шлифовальная	Шлифовать две боковые плоскости под прямой угол в размер $B$
080	Шлифовальная	Шлифовать уступ в размер $H_1$ с углом $60^\circ$ , выдержав размер $B_1$
085	Шлифовальная	Шлифовать фаску $0,5 \times 45^\circ$
090	Шлифовальная	Шлифовать уступ под углом $15^\circ$ в размер $l$

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции
095	Шлифовальная	Шлифовать длину режущей части в размер $l_1$ под углом $25^\circ$
100	Шлифовальная	Шлифовать резьбу по профилю согласно чертежу
105	Шлифовальная	Шлифовать плоскость на режущей части под углом $22^\circ$
110	Шлифовальная	Шлифовать другой торец в размер на длину 100 мм
115	Слесарная	Притупить острые нерабочие кромки
120	Контрольная	
125	Консервация	
130	Упаковочная	

### 9.5.8. Фреза дисковая двусторонняя со вставными ножами, оснащенными пластинами из твердого сплава



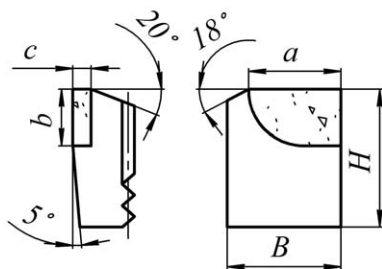
#### Корпус фрезы

Материал: сталь 40X

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции
005	Заготовительная	Отрезать заготовку
010	Токарная	Подрезать торец, сверлить отверстие, обточить наружную поверхность до кулачков предварительно
015	Токарная	Подрезать другой торец, расточить отверстие под шлифование, выточку, обточить оставшуюся часть наружной поверхности, обточить буртик в размер $D_2$ , снять фаску

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции
020	Токарная	Подрезать торец, обточить буртик в размер $D_2$ , снять фаску
025	Токарная	Обточить наружную поверхность окончательно, снять фаску
030	Протяжная	Протянуть шпоночный паз в размер
035	Фрезерная	Фрезеровать пазы под ножи
040	Фрезерная	Фрезеровать затылки зубьев
045	Долбежная	Долбить рифления в пазах
050	Слесарная	Снять заусенцы
055	Термическая	Закалить
060	Дробеструйная	Очистить
065	Шлифовальная	Шлифовать отверстие и торец буртика
070	Шлифовальная	Шлифовать другой торец буртика
075	Маркировочная	
080	Контрольная	
085	Промывка	

***Ножи, оснащенные пластинами из твердого сплава***

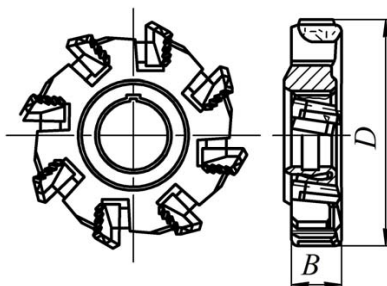


Материал: сталь 40Х; твердый сплав ВК6

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции
005	Заготовительная	Отрезать заготовку на два ножа
010	Фрезерная	Фрезеровать две наибольшие плоскости в размер
015	Фрезерная	Разрезать заготовку на два ножа
020	Фрезерная	Фрезеровать две плоскости в размер $B$
025	Фрезерная	Фрезеровать две плоскости в размер $H$
030	Фрезерная	Фрезеровать плоскость под углом $20^\circ$

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции
035	Фрезерная	Фрезеровать плоскость под углом $18^\circ$
040	Фрезерная	Фрезеровать гнездо под пластину твердого сплава выдерживая размеры $a, b, c$
045	Слесарная	Снять заусенцы
050	Термическая	Припаять пластину из твердого сплава
055	Дробеструйная	Очистить заготовку
060	Шлифовальная	Шлифовать поверхность со стороны пластинки в размер с припуском $0,3$ мм
065	Фрезерная	Фрезеровать рифления в размер
070	Шлифовальная	Шлифовать поверхность со стороны пластины в размер окончательно
075	Заточная	Заточить поверхности под углами $20$ и $18^\circ$
080	Маркировочная	Клеймить

### Фреза (сборочная единица)



Номер операции	Наименование операции	Содержание операции
005	Слесарная	Очистить рифления. Собрать корпус с ножами и клиньями
010	Шлифовальная	Шлифовать ножи по торцу в размер $B$
015	Заточная	Заточить переднюю поверхность ножей
020	Шлифовальная	Шлифовать ножи по диаметру в размер $D$
025	Заточная	Заточить фаску на ножах
030	Заточная	Заточить поднутрение на ножах
035	Заточная	Заточить задние углы ножей по диаметру до пластины из твердого сплава
040	Заточная	Заточить задние углы ножей по диаметру по пластине из твердого сплава

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции
045	Заточная	Заточить задние углы ножей по торцу до пластины из твердого сплава
050	Заточная	Заточить задние углы ножей на торце по пластине из твердого сплава
055	Контрольная	
060	Консервация	
065	Упаковочная	

## Библиографический список

1. Официальный сайт ОАО «АВТОВАЗ» [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.avtovaz.ru/cgi-bin/statement.pl> (дата обращения: 19.09.2011).
2. Боровский, Г.В. Справочник инструментальщика / Г.В. Боровский, С.Н. Григорьев, А.Р. Маслов. – М. : Машиностроение, 2005. – 464 с.
3. Верещака, А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями / А.С. Верещака. – М. : Машиностроение, 1993. – 336 с.
4. Геллер, Ю.А. Инструментальные стали : справочник / Ю.А. Геллер. – М. : Metallurgy, 1975. – 584 с.
5. Дитман, К. Высокоскоростное шлифование – современный метод обработки металлов резанием / К. Дитман, К. Гюринг // СТИН. – 1988. – № 12. – С. 21–24.
6. Зубарев, Ю.М. Теория и практика повышения эффективности шлифования материалов / Ю.М. Зубарев, А.В. Приемывшев. – М. : Лань, 2010. – 304 с.
7. Инструментальные материалы : учеб. пособие / Г.А. Воробьев [и др.]. – СПб. : Политехника, 2005. – 268 с.
8. Инструменты из сверхтвердых материалов : справочник / Г.П. Богатырева [и др.] ; под ред. Н.В. Новикова. – М. : Машиностроение, 2005. – 555 с.
9. Прогрессивные методы правки абразивных кругов / В.И. Мальшев [и др.]. – Киев : Техніка, 1985. – 112 с.
10. Маталин, А.А. Технология машиностроения / А.А. Маталин. – Л. : Машиностроение, 1985. – 496 с.
11. Обработка металлов резанием : справочник технолога ; под ред. А.А. Панова. – М. : Машиностроение, 1988. – 736 с.
12. Общемашиностроительные типовые нормы времени на изготовление режущего и измерительного инструмента. – М. : Машиностроение, 1974. – 699 с.
13. Палей, М.М. Технология производства металлорежущих инструментов / М.М. Палей. – М. : Машиностроение, 1982. – 256 с.
14. Палей, М.М. Технология шлифования и заточки режущего инструмента / М.М. Палей, Л.Г. Дибнер, М.Д. Флид. – М. : Машиностроение, 1988. – 288 с.

15. Панин, В.С. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них / В.С. Панин, А.М. Чувиллин, В.А. Фальковский. – М. : МИСИС, 2004. – 464 с.
16. Полевой, С.Н. Обработка инструментальных материалов : справочник / С.Н. Полевой, В.Д. Евдокимов. – Киев : Техніка, 1988. – 115 с.
17. Попов, С.А. Заточка и доводка режущего инструмента / С.А. Попов. – М. : Высш. шк., 1986. – 223 с.
18. Резников, А.Н. Теплофизика резания / А.Н. Резников. – М. : Машиностроение, 1969. – 288 с.
19. Синопальников, В.А. Надежность и диагностика технологических систем : учебник / В.А. Синопальников, С.Н. Григорьев. – М. : Высш. шк., 2005. – 343 с.
20. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки / Г.Л. Амитан [и др.] ; под ред. В.А. Волосатова. – Л. : Машиностроение. Ленинградское отделение, 1988. – 719 с.
21. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А.М. Дальского [и др.]. – М. : Машиностроение, 2001. – Т. 1. – 912 с.
22. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А.М. Дальского [и др.]. – М. : Машиностроение, 2001. – Т. 2. – 905 с.
23. Суслов, А.Г. Научные основы технологии машиностроения / А.Г. Суслов, А.М. Дальский. – М. : Машиностроение, 2002. – 684 с.
24. Технологические наладки изготовления деталей и сборка в машиностроении : учеб. пособие / А.Г. Схиртладзе [и др.] – М. : МГТУ «СТАНКИН» ; Янус-К, 2003. – 280 с.
25. Технология машиностроения : в 2 т. Т. 1. Основы технологии машиностроения / В.М. Бурцев [и др.] ; под ред. А.М. Дальского. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 564 с.
26. Технология машиностроения : в 2 т. Т. 2. Производство машин / В.М. Бурцев [и др.] ; под ред. Г.М. Мельникова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 640 с.
27. Термическая обработка в машиностроении : справочник / под ред. Ю.М. Лахтина и А.Г. Рахмштадта. – М. : Машиностроение, 1980. – 783 с.
28. Худобин, Л.В. Базирование заготовок при механической обработке / Л.В. Худобин, М.А. Белов, А.Н. Унянин. – Старый Оскол : ТНТ, 2011 – 248 с.

29. Getting to know special steel. Special metallurgy / R. Ebner, P. Hellman, F. Kooch, R. Ponti Sgargi, A. Schindler. – Milano : Edizioni sipiel, 2005. – P. 135.
30. Gerhard Ihle Hartmetalle + Werkzeuge e.K. [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.ihle.com/main/index.php?lang=en> (дата обращения: 12.10.2010).
31. LMT Boehlerit [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.boehlerit.at> (дата обращения: 12.10.2010).
32. Precision Carbide Tools Ltd [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.precision-carbide.com> (дата обращения: 12.10.2010).



Учебное издание

*Мальшев Владимир Ильич*

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЖУЩЕГО  
ИНСТРУМЕНТА

Учебное пособие

Редактор *Г.В. Данилова*

Технический редактор *З.М. Малявина*

Вёрстка: *Л.В. Сызганцева*

Дизайн обложки: *Л.А. Резников, Г.В. Карасева*

Подписано в печать 11.07.12. Формат 60×84/16.

Печать оперативная. Усл. п. л. 21,39.

Тираж экз. Заказ № 1-25-12.

Издательство Тольяттинского государственного университета  
445667, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14

