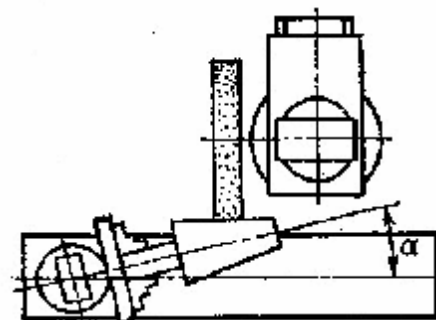
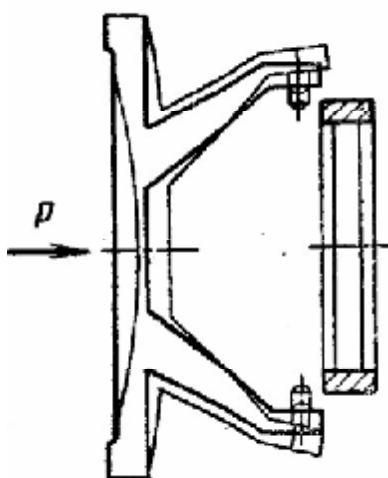
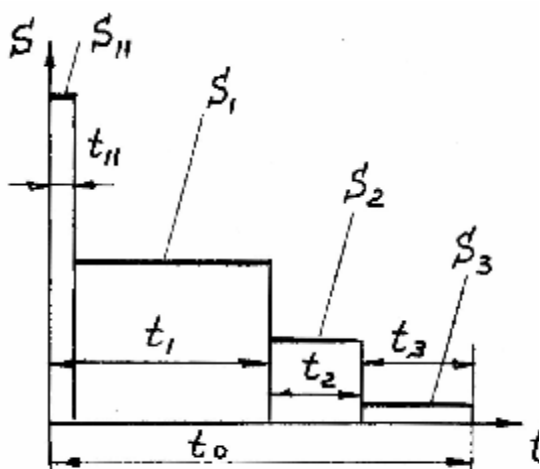


ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ ОБРАБОТКИ НА ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКАХ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным и практическим работам по курсу «Технология машиностроения» для студентов специальностей 36 01 01 «Технология машиностроения» и 36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства»



УДК 620.9 (476)

Проектирование операций обработки на шлифовальных станках : методические указания к лабораторным и практическим работам по курсу «Технология машиностроения» для студентов специальностей 36 01 01 «Технология машиностроения» и 36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства», Витебск: Министерство образования РБ, УО «ВГТУ», 2007.

Составители: *к.т.н., проф. Махаринский Е.И.; к.т.н., проф. Ольшанский В.И.; доц. Махаринский Ю.Е.; асс. Беляков Н.В.*

В методических указаниях изложены методы: шлифования различных поверхностей; установки и закрепления заготовок; размерной настройки; назначения и настройки режимов резания; контроля обработки на шлифовальных станках.

Разработка предназначена для студентов специальностей 36 01 01 «Технология машиностроения» и 36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства»

Одобрено кафедрой «Технология и оборудование машиностроительного производства» УО «ВГТУ»

« 6 » _____ апреля 2007 г. Протокол № 14

Рецензент: *к.т.н., доц. Угольников А.А.*

Редактор: *к.т.н., доц. Ольшанский А.И.*

Рекомендовано к опубликованию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ»

« _____ » _____ 2007 г. Протокол № _____

Ответственный за выпуск: *Герасимова О.С.*

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»

Подписано к печати _____ Формат _____ Уч.-изд. лист _____
Печать ризографическая Тираж _____ экз. Заказ № _____ Цена _____ руб.

Отпечатано на ризографе Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»

Лицензия № 02330/0133005 от 1.04.2004 г.

210035 Республика Беларусь, г. Витебск, Московский пр., 72

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Рекомендации для выбора вида шлифования и типоразмера шлифовального станка	5
2. Рекомендации для выбора статических характеристик шлифовального круга	7
3. Рекомендации для выбора приспособлений для установки и закрепления заготовки	13
4. Рекомендации для выбора способа и показателей режима правки..	22
5. Рекомендации для выбора состава СОЖ и способа ее подачи.....	27
6. Технологические характеристики процесса шлифования.....	30
7. Методика расчета показателей рабочего цикла шлифования.....	35
Литература.....	46
Вопросы для самоконтроля.....	47
Приложение.....	50

Шлифование является основным методом окончательной обработки деталей машин. Этот процесс должен обеспечить заданное качество (точность, шероховатость, остаточные внутренние напряжения, отсутствие прижогов) обработанных поверхностей при высокой производительности. Для этого необходимо правильно спроектировать операцию шлифования.

Цель выполнения работы: приобретение опыта проектирования технологической однопереходной операции обработки типовых элементов детали на шлифовальном станке.

Задача студента.

Для заданных вариантов:

а) разработать:

- схему установки;
- схему обработки;
- схему размерной настройки;

б) выбрать:

- тип инструмента;
- тип приспособления для установки и закрепления заготовки;
- тип вспомогательного инструмента;

в) определить:

- показатели режима обработки;
- затраты основного времени на обработку.

г) оформить отчет.

1. РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ВЫБОРА ВИДА ШЛИФОВАНИЯ И ТИПОРАЗМЕРА ШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА

Способ шлифования и тип шлифовального станка обуславливается типом обрабатываемой поверхности. Так наружные поверхности вращения обрабатываются на круглошлифовальных станках, внутренние поверхности вращения обрабатываются на внутришлифовальных станках, а плоские – на плоскошлифовальных станках. Однако вид шлифования зависит еще от отношения размеров (длины или ширины) шлифуемой поверхности и ширины шлифовального круга. Если ширина шлифовального круга, которая определяется типоразмером станка, больше длины (ширины) шлифуемой поверхности, то применяется метод **врезного шлифования**. В противном случае применяется **шлифование с продольной (поперечной) подачей**. На рисунках 1.1, 1.2 и 1.3 показаны схемы врезного шлифования открытых поверхностей.

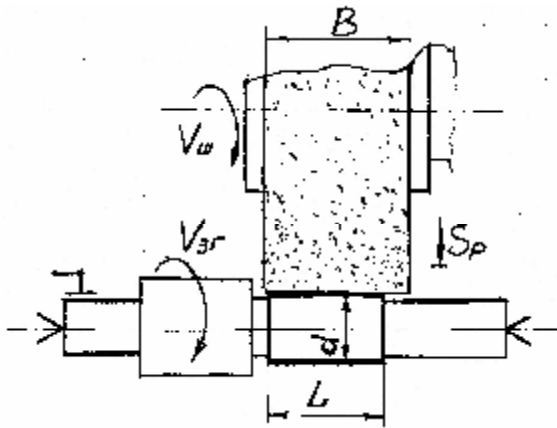


Рис. 1.1. Схема круглого наружного врезного шлифования

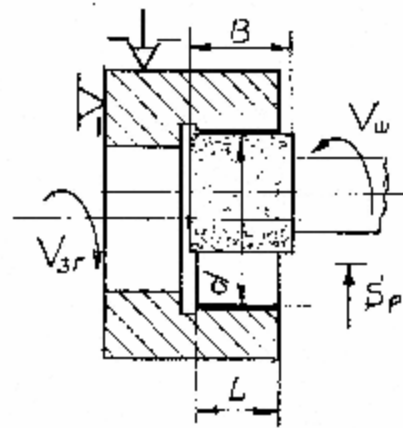


Рис. 1.2. Схема внутреннего врезного шлифования

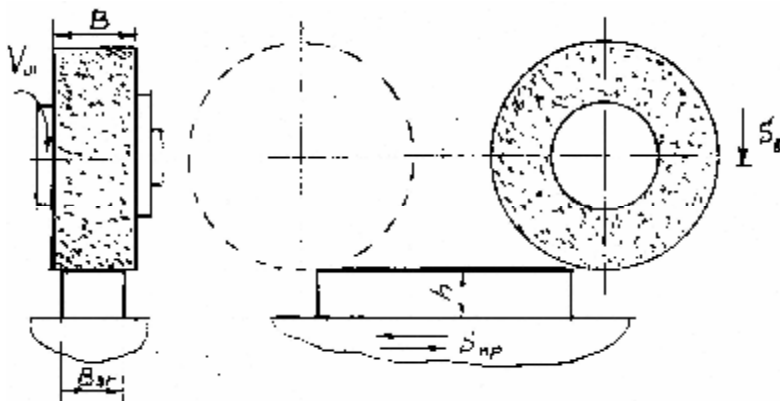


Рис. 1.3. Схема плоского врезного шлифования

Схемы врезного шлифования полуоткрытых «коротких» поверхностей с подшлифовкой торца показаны на рисунках 1.4 и 1.5. Врезным шлифованием можно обработать фасонные поверхности. Схемы шлифования фасонных поверхностей показаны на рисунках 1.6, 1.7 и 1.8.

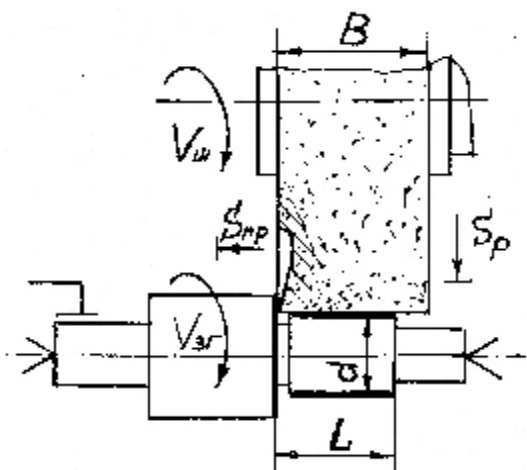


Рис. 1.4. Схема круглого врезного шлифования с подшлифовкой торца

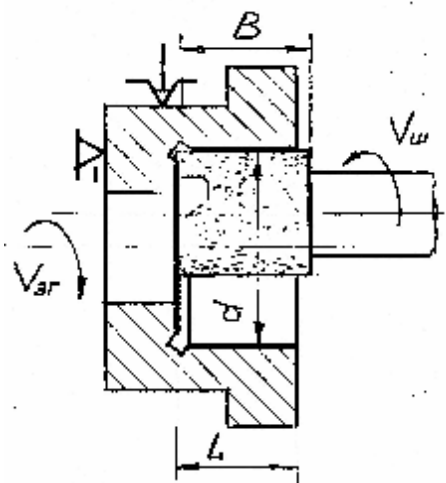


Рис. 1.5. Схема внутреннего врезного шлифования с подшлифовкой внутреннего торца

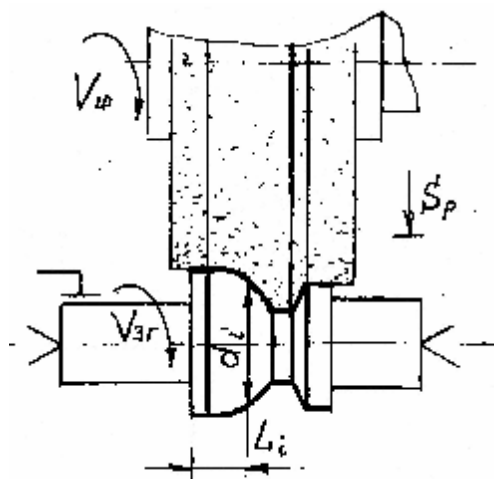


Рис. 1.6. Схема круглого врезного шлифования фасонной поверхности

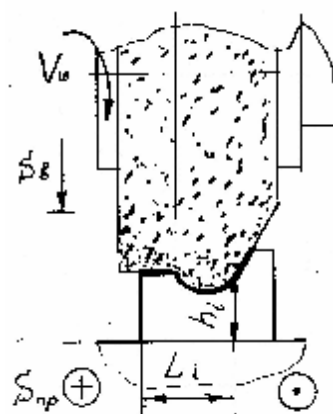


Рис. 1.7. Схема плоского фасонного шлифования.

Если длина шлифуемой поверхности больше ширины шлифовального круга, то применяется шлифование с продольной подачей, схемы которого показаны на рис. 1.9, 1.10, 1.11 и 1.12. Для повышения производительности в таких случаях можно применять комбинированное шлифование, при котором основная часть припуска удаляется врезным шлифованием с последовательным смещением шлифовального круга вдоль оси детали (рис.

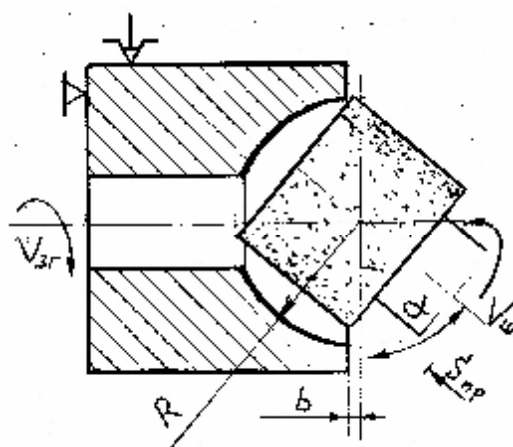


Рис. 1.8. Схема шлифования сферического отверстия на внутришлифовальном станке

1.13). А малая часть припуска (за два-три прохода) удаляется шлифованием с продольной подачей.

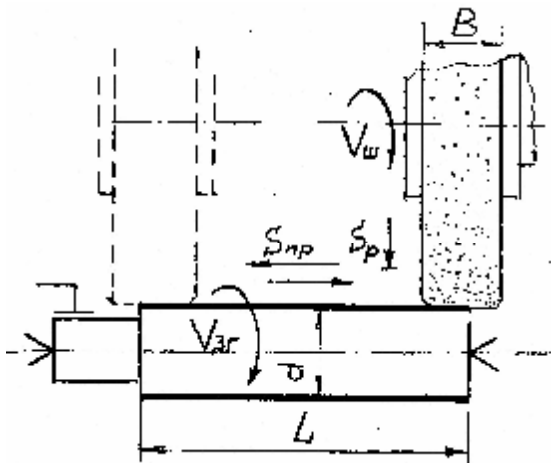


Рис. 1.9. Схема круглого шлифования с продольной подачей.

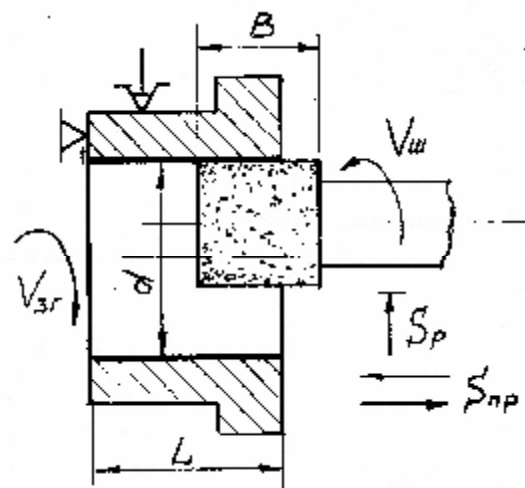


Рис. 1.10. Схема внутреннего продольного шлифования

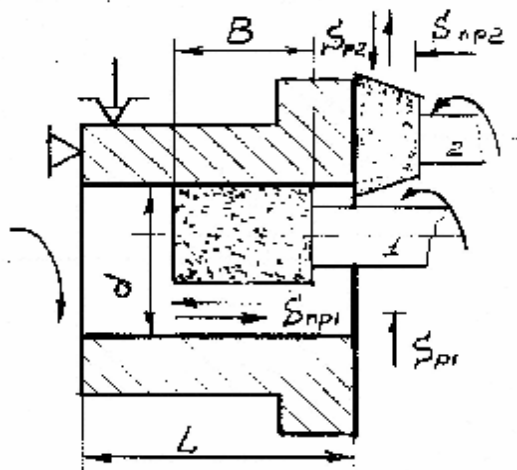


Рис. 1.11. Схема внутреннего продольного шлифования с подшлифовкой наружного торца

Схемы наружного шлифования конических поверхностей показаны на рисунке 1.14. А схема внутреннего продольного шлифования с подшлифовкой наружного торца показана на рисунке 1.11.

Чтобы выбрать модель станка необходимо сопоставить габаритные размеры заготовки с габаритными размерами рабочего пространства станка, которые указаны для основных моделей шлифовальных станков в приложении.

2. РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ВЫБОРА СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА

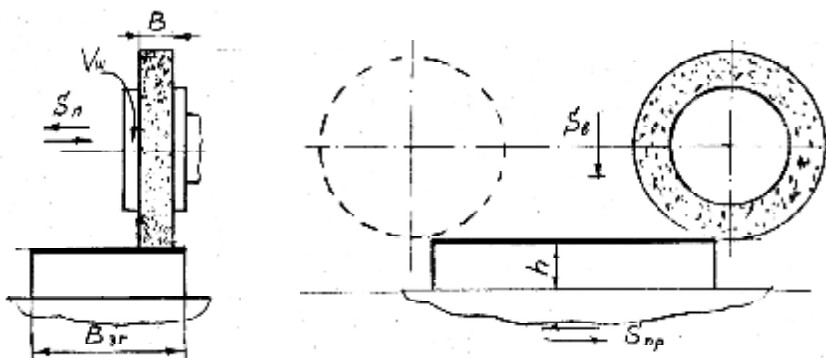
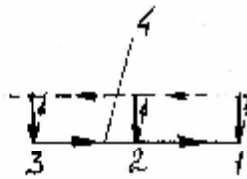
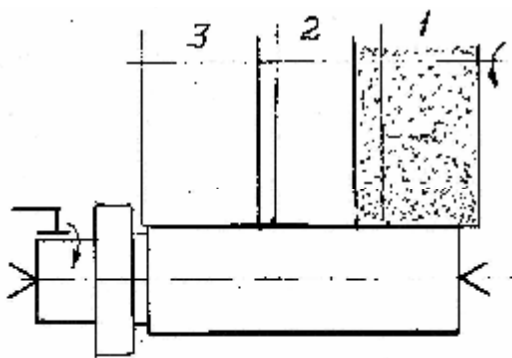


Рис. 1.12. Схема плоского шлифования с поперечной подачей

На рисунке 2.1 показан пример маркировки шлифовального круга, где: КАЗ – марка завода изготовителя, 14А – обозначение марки абразивного материала, 40 – номер зернистости, П – индекс зернистости, С2 – степень твердости, 6 – номер структуры, К5 –



обозначение вида
связки, А – обозна-
чение класса точно-
сти инструмента, 2кл
– класс неуравнове-
шенности инстру-
мента, ПП – обозна-
чение формы шли-
фовального круга,
500 × 50 × 305 – со-
ответственно наруж-
ный диаметр, высота и диаметр посадочного отверстия шлифовального круга,
35 м/с – допустимая окружная скорость.

Рис. 1.13. Схема последовательно-врезного шлифования

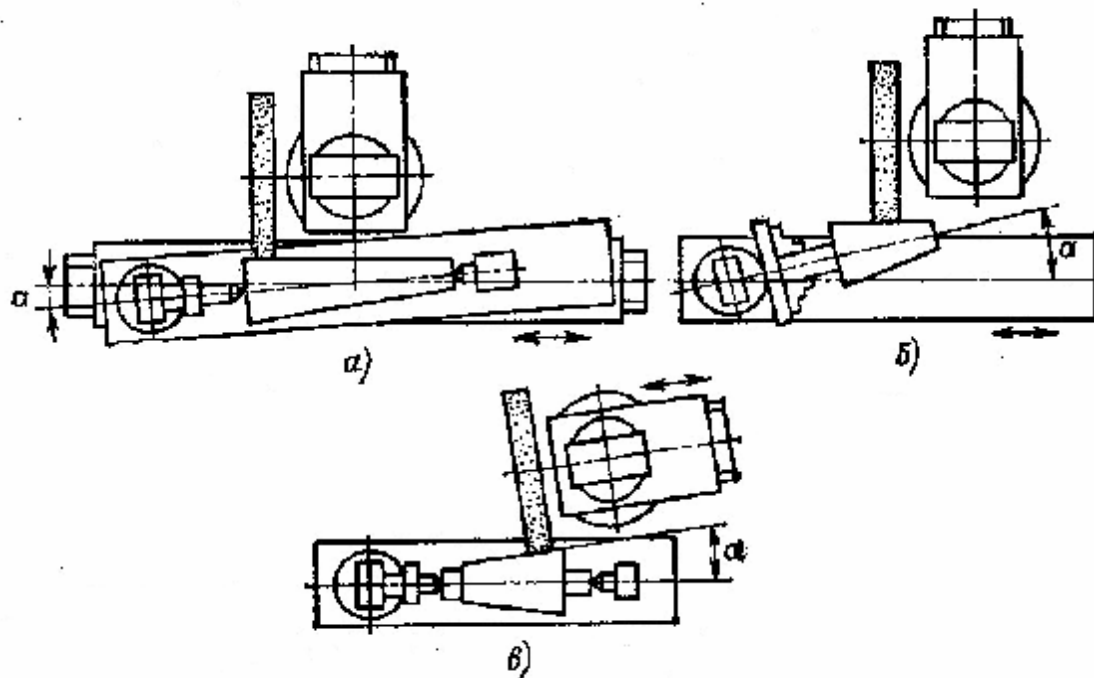


Рис. 1.14. Способы шлифования наружных конических поверхностей



Рис. 2.1. Пример маркировки шлифовального круга

Марку абразивного материала следует выбирать, руководствуясь таблицей 2.1.

Зернистость характеризует размер абразивных зерен основной фракции в данном инструменте. Номер зернистости соответствует 0,1 размера (мкм) в свету стороны ячейки сита, на котором задерживаются зерна основной фракции, например 40, 25, 16 (соответственно 400, 250, 160 мкм).

Фракция – это совокупность абразивных зерен в установленном интервале размеров. Преобладающую по массе, объему или числу

зерен фракцию называют *основной*. Однородность зернового состава, существенно влияющая на шероховатость шлифованной поверхности, режущие свойства и стойкость инструмента, характеризуется процентным содержанием основной фракции. Поэтому условное обозначение зернистости дополняется буквенным индексом, соответствующим этому процентному содержанию: В – высокое, П – повышенное, Н – нормальное, Д – допустимое.

Таблица 2.1

Характеристики и область применения абразивных материалов

Характеристика	Марка	Область применения
Электрокорунд нормальный. Высокая теплостойкость и прочность, хорошая сцепляемость со связкой.	13А	Обдирочное шлифование стальных заготовок.
	14А	Шлифование стальных заготовок.
	15А	Скоростное шлифование
Электрокорунд белый. Имеет более однородный состав и более высокую твердость, обладает лучшей самозатачиваемостью, обеспечивает меньшее <i>Ra</i> чем электрокорунд нормальный.	23А	Шлифование стальных заготовок.
	24А	Шлифование закаленных стальных заготовок.
	25А	Скоростное шлифование закаленных стальных заготовок.
Электрокорунд циркониевый. Стойкость при обдирочном шлифовании в 10 – 40 раз выше чем у инструмента из 13А – 15А.	38А	Обдирочное шлифование стальных заготовок с высокими скоростями и подачами
Монокорунд. Имеет более высокие режущие свойства чем нормальный электрокорунд	43А	Чистовое шлифование деталей из труднообрабатываемых сталей и сплавов
Карбид кремния черный. Тверже электрокорунда, но хуже удерживается связкой.	53С	Шлифование чугуна, цветных и вольфрамовых твердых сплавов.
	54С	
Карбид кремния зеленый. Тверже чем 53С и обладает лучшей абразивной способностью.	62С	Шлифование чугуна, меди и алюминия. Шлифование титановых твердых сплавов
	63С	
Эльбор (кубический нитрид бора). Имеет наивысшую после алмаза твердость и абразивную способность, химически инертен к железу.	ЛП ЛО	Чистовое шлифование высокоточных деталей из труднообрабатываемых закаленных сталей.
Алмаз синтетический. Химически активен к железу.	АС2	Чистовое шлифование и доводка деталей из твердых сплавов и сталей.

Номер зернистости выбирается согласно таблице 2.2.

Таблица 2.2.

Зернистость шлифовальных кругов и область применения

Номер зернистости	Размер зерен основной фракции	Минимальное содержание основной фракции (%)			Область применения
		П	Н	Д	
80	1000 – 800	55	45	41	Предварительное шлифование незакаленных сталей и чугунов со снятием большого припуска
63	800 – 630				
50	630 – 500				
40	500 – 400		45	41	Предварительное и окончательное шлифование закаленных сталей и чугунов с обеспечением $Ra = 2,5 - 0,63$ мкм.
32	400 – 315				
25	315 – 250		43	39	Чистовое шлифование с обеспечением $Ra = 2,5 - 0,32$ мкм.
20	250 – 200				
16	200 – 160				
12	160 – 120		45	41	Профильное шлифование с обеспечением $Ra = 0,63 - 0,16$ мкм.
10	125 – 100				
8	100 – 80				

Твердость характеризует прочность закрепления абразивных зерен в инструменте с помощью связки. С увеличением количества связки на 1.5% твердость инструмента повышается на одну степень. При этом объем связки увеличивается за счет соответствующего уменьшения объема пор. Расстояние между зернами остается постоянным. Твердость оказывает влияние на режущие свойства и кромкостойкость инструмента, а также на характер его изнашивания в процессе шлифования. В таблице 2.3 приведена классификация твердости и область применения.

Таблица 2.3.

Твердость абразивного инструмента и область его применения

Степень твердости	Обозначение твердости	Область применения
Мягкий (М)	М1, М2, М3	Шлифование с интенсивным самозатачиванием инструмента – плоское (торцом круга), внутреннее (закаленных сталей, имеющих склонность к прижогам и трещинам).
Среднемягкий (СМ)	СМ1, СМ2	
Средний (С)	С1, С2	Окончательное и чистовое шлифование сталей и чугунов.
Среднетвердый (СТ)	СТ1, СТ2, СТ3	Круглое врезное шлифование, профильное шлифование
Твердый (Т)	Т1, Т2	Обдирочное шлифование.

Номер структуры характеризует относительный объем зерен в инструменте. С уменьшением на 2% объема зерен номер структуры увеличивается на единицу. При этом для кругов с одинаковой твердостью относительный объем пор увеличивается, то есть структура становится более открытой. Структура № 1 имеет объем зерен 60%, а № 12 – 38%. Инструменты с открытой структурой имеют улучшенные условия для отвода стружки и меньшее тепловыделение.

Наиболее эффективно их применять при шлифовании вязких металлов, а также металлов, склонных к прижогам и трещинам.

Рекомендуемые области применения инструмента основных номеров структур следующие:

№ 3, № 4 – профильное шлифование и шлифование с переменной нагрузкой;

№ 4...6 – круглое наружное и плоское шлифование периферией круга;

№ 7...9 – плоское шлифование торцом круга, внутреннее шлифование.

Увеличенные размеры пор достигаются добавкой в абразивную массу порообразующих веществ, которые выгорают при термической обработке (спекании) инструмента. Такой абразивный инструмент называется *высокопористым*. Наибольшая его эффективность проявляется при шлифовании очень вязких материалов, при сухом (без подачи СОЖ) шлифовании.

Связка определяет прочность и твердость инструмента, оказывает большое влияние на режимы, производительность и качество обработки. Применяются следующие виды связки.

Керамическая связка обладает высокой огнеупорностью, водостойкостью, химической стойкостью, хорошо сохраняет профиль рабочей кромки круга, но чувствительна к ударным и изгибающим нагрузкам. Шлифовальные круги из электрокорунда более прочны, чем из карбида кремния.

Абразивный инструмент на *бакелитовой связке* обладает более высокими прочностью (на сжатие и изгиб) и упругостью, чем инструмент на керамической связке. Недостатком бакелитовой связки является невысокая стойкость к воздействию охлаждающих жидкостей, содержащих щелочные растворы. При шлифовании кругами на бакелитовой связке охлаждающая жидкость должна содержать не более 1,5% щелочи. Круги на бакелитовой связке обладают меньшей кромкостойкостью, чем на керамической. Бакелитовая связка имеет более слабое, чем керамическая, сцепление с абразивными зёрнами. Поэтому инструмент на этой связке применяется на операциях плоского шлифования, где необходимо самозатачивание круга. Бакелитовая связка, имеющая невысокую теплостойкость, выгорает при нагреве до 250...300°C, а при 200°C и выше приобретает хрупкость. Абразивный инструмент на бакелитовой связке чаще изготавливают из электрокорунда нормального и карбида кремния черного.

Основой *вулканитовой связки* является термически обработанная смесь каучука с серой. Поэтому инструмент на такой связке, приобретающий свойство эластичности, используется при обработке фасонных поверхностей и профильного шлифования. Вулканитовая связка по сравнению с керамической значительно хуже удерживает абразивные зёрна, что компенсируется повышением ее количества за счет уменьшения пор. Вследствие этого инструмент на вулканитовой связке отличается плотной структурой, вызывающей увеличенное тепловыделение при шлифовании. Низкая теплостойкость каучука (150...180°C) приводит к размягчению и выгоранию связки при интенсивном шлифовании. Круги на вулканитовой связке обеспечивают меньшую шероховатость.

Наиболее часто употребляемые связки и области их применения указаны в таблице 2.4.

Таблица 2.4

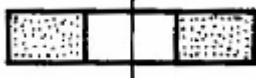
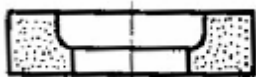
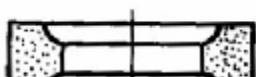
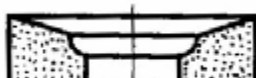

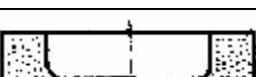
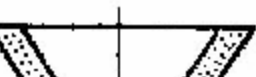
Связки абразивных кругов и области их применения

Связка	Марка	Область применения
Керамическая	К0	Изготовление малогабаритных кругов для внутреннего шлифования.
	К1, К5, К8.	Изготовление инструмента общего назначения для всех видов шлифования, кроме отрезных и прорезных работ.
	К5, К7.	Изготовление инструмента повышенной прочности и кромкостойкости для врезного и прецизионного шлифования.
	К2, К3	Изготовление инструмента из карбида кремния
Бакелитовая	Б	Изготовление инструмента с повышенной режущей способностью для шлифования заготовок, имеющих склонность к прижогам.
	Б1	Изготовление инструмента общего назначения для плоского и внутреннего шлифования.
	БУ	Изготовление инструмента повышенной прочности.
Вулканитовая	В2	Изготовление инструмента повышенной прочности.
	В3	Изготовление инструмента повышенной режущей способности для профильного шлифования деталей подшипников качения, чистового шлифования цилиндрических поверхностей.

Основные виды формы шлифовальных кругов, которые могут использоваться в настоящей работе, приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5

Виды формы шлифовальных кругов и область их применения

Название	Форма	Обозначение	Область применения
Прямого профиля		ПП	Шлифование круглое наружное, внутреннее, плоское периферией круга.
С выточкой		ПВ	Круглое внутреннее шлифование, шлифование шейки и торца.
С двусторонней выточкой		ПВД	Круглое и плоское шлифование периферией круга.
С конической выточкой		ПВК	Круглое шлифование шейки и торца.
С двусторонней конической выточкой		ПВДК	Круглое наружное шлифование с одновременной подрезкой торца.
Чашечные цилиндрические		ЧЦ	Плоское шлифование торцом круга
Чашечные конические		ЧК	Плоское шлифование торцом круга направляющих станков

Точность размеров и геометрической формы абразивного инструмента характеризуется тремя классами – АА, А и Б. Для менее ответственных операций шлифования применяют инструмент класса Б. Более точным и качественным является инструмент класса А. Для работы на высокоточных станках применяют прецизионный инструмент класса АА. Он отличается наиболее высокой точностью геометрических параметров, однородностью зернового состава, уравниваемостью абразивной массы и изготавливается из лучших сортов шлифовальных материалов.

Неуравновешенность массы шлифовального круга характеризуется классом неуравновешенности. Установлено четыре класса неуравновешенности шлифовальных кругов: 1 (самый точный), 2, 3 и 4 (самый грубый). Для обработки заготовок точных деталей применяют круги 1-го и 2-го классов точности: ПВ (повышенного) и ПЦЗ (прецизионного). Круги класса точности ПЦЗ (АА) соответствуют 1-му классу неуравновешенности. А круги класса точности ПВ (А) – 1-му или 2-му. Круги класса точности Б соответствуют 2-му или 3-му классам неуравновешенности.

Различают неуравновешенность статическую и динамическую. Последняя проявляется у кругов большой высоты. Причинами неуравновешенности кругов являются их неравномерная плотность, погрешность формы и монтажа. Неравномерность плотности возникает не только в процессе изготовления шлифовального круга, но и при неправильном хранении (контакт с жидкостью, маслом и др.) и эксплуатации (одностороннее смачивание круга СОЖ, биение наружной поверхности круга и др.).

Рабочая окружная скорость шлифовального круга ограничивается его прочностью. Допустимые рабочие скорости для шлифовальных кругов на керамической, бакелитовой и вулканитовой связках с учетом геометрической формы инструмента приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6

Допустимые окружные скорости шлифовального круга

Тип круга	Рабочая окружная скорость, м/с
ПП	30, 35, 40, 50, 60, 80
ЧЦ, ЧК	20, 25, 30
Прочие (ПВ, ПВД, ПВК, ПВДК)	25, 30, 35, 50

3. РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ВЫБОРА ПРИСПОСОБЛЕНИЙ ДЛЯ УСТАНОВКИ И ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЗАГОТОВКИ

Вид приспособления зависит от схемы установки и станка, на котором выполняется обработка. Схемы установки показаны на рисунках раздела 1. При обработке на круглошлифовальных станках технологическими базами являются центровые отверстия (рис. 3.1). Этими отверстиями заготовки устанавливаются в рабочей зоне станка на упорные центры.

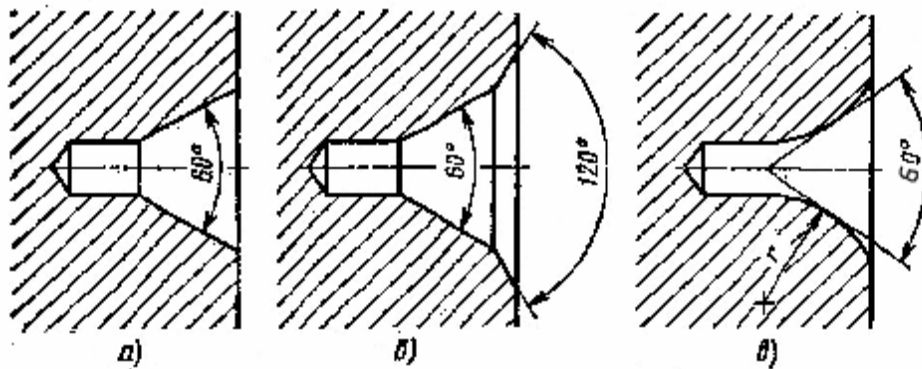


Рис. 3.1. Виды центровых отверстий: а) без предохранительного конуса, б) с предохранительным конусом, в) с дугообразной образующей

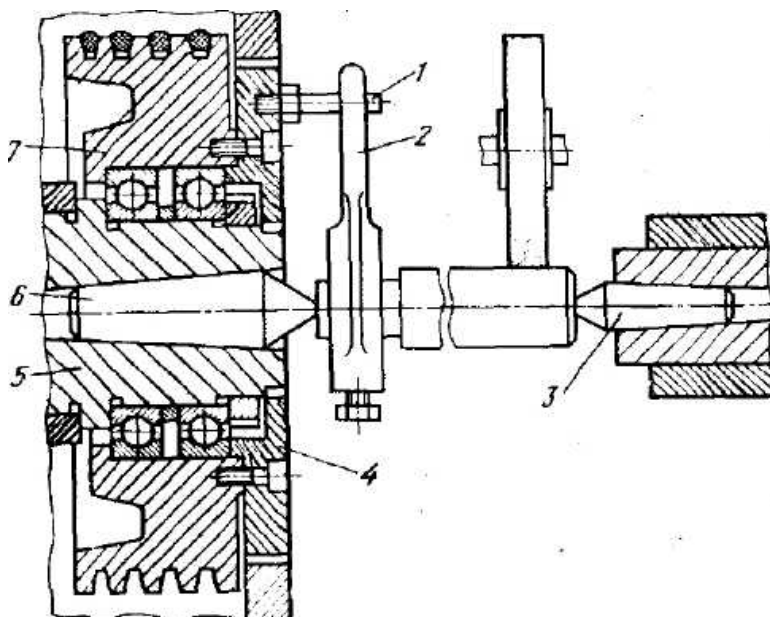


Рис. 3.2. Схема установки заготовки в центрах: 1— поводковый палец; 2— хомутик; 3— задний упорный центр; 4— поводковый диск; 5— шпиндель передней бабки станка; 6— передний упорный центр; 7— шкив.

Упорные центры имеют конический хвостовик, который легко входит в коническое отверстие передней и задней бабок и также легко вынимается из них. Рабочий конец центра шлифуют на конус с углом при вершине 60° . Размеры применяемых упорных центров стандартизованы, и их различают по номерам.

Упорные центры имеют конический хвостовик, который легко входит в коническое отверстие передней и задней бабок и также легко вынимается из них. Рабочий конец центра шлифуют на конус с углом при вершине 60° . Размеры применяемых упорных центров стандартизованы, и их различают по номерам.

Схема установки заготовки в центрах круглошлифовального станка показана на рисунке 3.2.

В шлифовальных станках упорный центр задней бабки опирается на пружину, силу нажатия которой можно регулировать. При таком устройстве на заготовку со стороны центра действует постоянная сила, что уменьшает вибрации заготовки. При шлифовании заготовка нагревается и несколько удлиняется, перемещая задний центр вдоль его оси.

При шлифовании в центрах центр передней бабки не вращается, и шлифуемая деталь получает вращение от поводковой планшайбы через хомутик, закрепляемый на конце детали.

Центра изготовляются цельными или с твердосплавным наконечником. При шлифовании деталей диаметром 3—4 мм применяют обратные центры. В этом случае концы шлифуемых деталей выполняются в виде конусов с углом при вершине 60° .

Для свободного выхода шлифовального круга с детали, диаметр которой меньше диаметра центра, одна сторона центра, обращенная к кругу, срезается.

Вращение заготовке передается хомутиком 2 (см. рис. 3.2). Наиболее часто применяемый вид хомутика показан на рис. 3.3. Недосток таких хомутиков состоит в том, что при невысокой твердости шлифуемой детали зажимный винт оставляет на ней вмятину. Универсальный хомутик (рис. 3.4) не имеет такого недостатка.

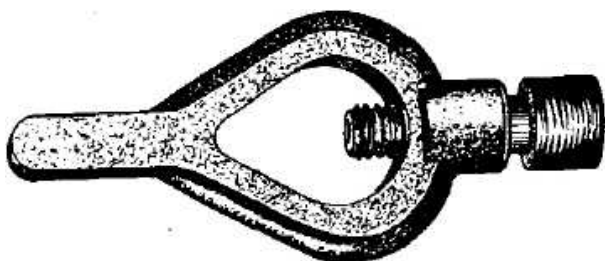


Рис. 3.3. Хомутик

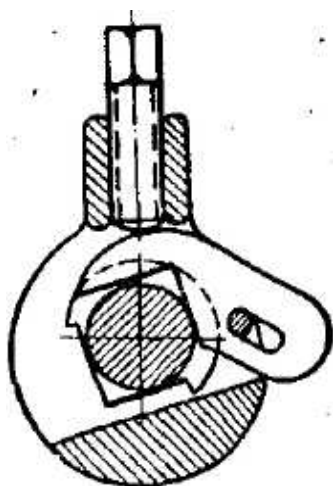


Рис. 3.4. Универсальный хомутик

Детали с точным отверстием и небольшой высоты шлифуют на длинных центровых оправках с небольшой конусностью (рис. 3.5-а). Диаметр оправки с заходного конца на 0,01 мм меньше номинального диаметра отверстия шлифуемой детали, диаметр другого конца оправки превышает диаметр отверстия детали на 0,015 мм.

Конусность оправки должна быть не больше 0,015 мм на 100 мм длины. Разжимные оправки (рис. 3.5-б) используют для шлифования деталей с более широким допуском по внутреннему диаметру.

Шлифуемая деталь устанавливается на разжимной втулке 2, имеющей 3...6 осевых разрезов с каждого торца. При заворачивании гайки 3 внутренняя конусная поверхность втулки перемещается по наружному конусу оправки, вследствие чего происходит зажим обрабатываемой детали.

Если у шлифуемой заготовки нет посадочного отверстия, которое можно использовать в качестве технологической базы, то ее устанавливают в трехкулачковом или мембранном патроне. Патрон крепится вместо поводкового диска 4 (см. рис. 3.2).

Длинные и тонкие заготовки под действием сил резания при шлифовании прогибаются. Чтобы устранить прогиб, применяют особые подставки, называемые люнетами. Число устанавливаемых при круглом шлифовании люнетов определяют соотношением между диаметром и длиной заготовки. Чем они тоньше и длиннее, тем больше люнетов необходимо установить.

На рис. 3.6 показан люнет, корпус которого устанавливают на столе 1 станка. Заготовку 5 поддерживают двумя башмаками 6 и 4. Башмак 4 подводят к заготовке винтом 3, а башмак 6 устанавливают винтом 2 и двуплечим рычагом. Башмаки изготавливают из дерева или цветного металла, чтобы не повредить шлифуемую поверхность.

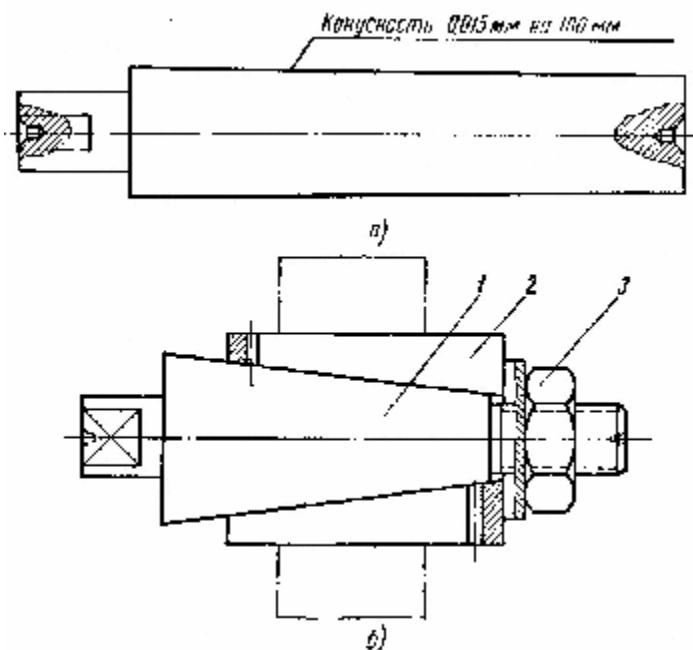


Рис. 3.5. Оправки для установки деталей типа «втулки»

может достигать нескольких сотых долей миллиметра. Кроме того, кулачки деформируют нежесткие детали при их закреплении.

Другим стандартным приспособлением, входящим в комплект принадлежностей универсальных станков, является *четырекулачковый патрон* с независимым перемещением кулачков. Этот патрон более универсален, так как позволяет закрепить детали различной конфигурации, а не только тела вращения. Но установка деталей в нем отнимает много времени из-за обязательной

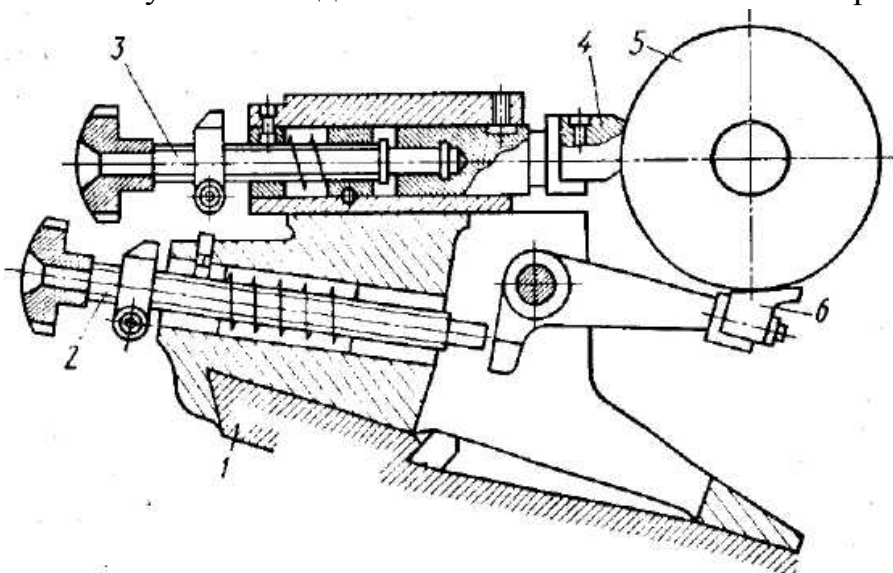


Рис. 3.6. Люнет круглошлифовального станка

лачковые.

Детали, не имеющие удобной поверхности для закрепления описанными выше устройствами, шлифуют в единичном и мелкосерийном производстве на планшайбе. Они базируются торцом по лицевой плоскости планшайбы, снабженной пазами. В пазы вставляют прихваты, прижимающие детали к

На универсальных внутришлифовальных станках основным приспособлением является стандартный *самоцентрирующий трехкулачковый патрон*, устанавливаемый на переднем конце шпинделя бабки изделия через переходную планшайбу. В нем можно быстро закреплять самые разнообразные детали типа тел вращения с разными значениями наружного диаметра. Однако точность центрирования такого патрона сравнительно невысока. Биение кулачков вызывает отклонение от concentricity проточенного отверстия с наружным диаметром детали, которое

выверки по индикатору оси обрабатываемого отверстия. При этом каждый из четырех кулачков приходится передвигать отдельно.

Для закрепления деталей цилиндрической формы применяют *цанговые патроны*, обеспечивающие более высокую точность центрирования, чем ку-

планшайбе. В этом случае обязательна выверка по индикатору оси каждого обрабатываемого отверстия. В таком приспособлении можно обрабатывать многоосные, а также неуравновешенные детали. Для их уравнивания на планшайбе устанавливают противовесы. Шлифование деталей на планшайбе позволяет достигать большей в сравнении с патронами перпендикулярности оси обрабатываемого отверстия базовому торцу детали.

В серийном производстве широко применяют *мембранные патроны*, которые обеспечивают высокую точность обработки детали. Принцип их действия основан на применении упругих свойств мембраны, изготовленной из пружинной стали. На рис. 3.7 показана схема действия мембраны. Вследствие приложения

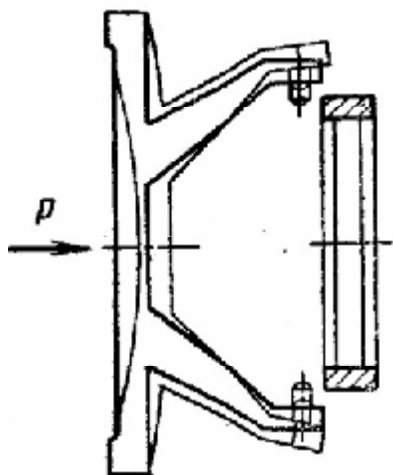


Рис. 3.7. Схема мембранного патрона

в осевом направлении силы P происходит деформация мембраны и зажимные кулачки (их может быть 8...16) раздвигаются. Когда сила перестает действовать, мембрана выпрямляется и кулачки центрируют и закрепляют заготовку. По торцу заготовка ориентируется упорами (на схеме не показаны). Для повышения точности установки кулачки и упоры шлифуют на месте под определенный диаметр, за который будет закрепляться шлифуемая деталь.

Для установки конических зубчатых колес применяют *рычажные патроны* (рис. 3.8). Патрон состоит из корпуса с фланцем 3. Обрабатываемое колесо 5 базируется впадинами на три шарика 6, положение которых вдоль оси патрона определяют

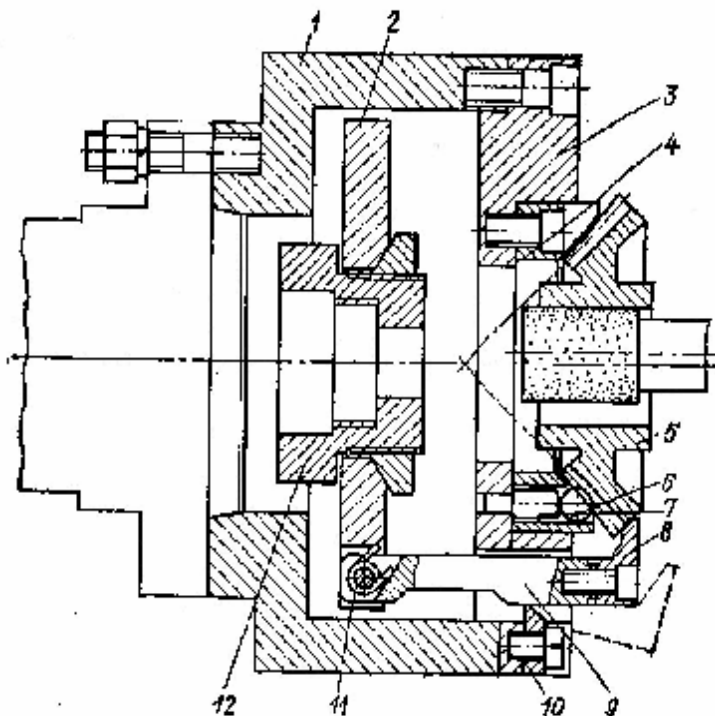


Рис. 3.8. Рычажный патрон для крепления конической шестерни

опоры 7, запрессованные во фланец. Шарик должен находиться на равных расстояниях от оси патрона, что обеспечивает точность сепаратора 4 в гнезда которого они помещены. К шарикам обрабатываемую деталь прижимает рычажный механизм, состоящий из крестовины 2 и трех рычагов с захватами 8. Закрепление происходит, когда шток механизма гидрозатвора, соединенный с крестовиной через втулку 12, движется влево. При обратном движении скошенные участки рычагов зайдут за упоры 10, пружины 11 разведут рычаги

9 и деталь будет раскреплена. Точность патрона достигается шлифованием «по месту» гнезда для сепаратора и плоскостей опор 7.

Для закрепления деталей с базированием по наружному диаметру и торцу применяют *мембранно-рычажные патроны*. Одна из конструкций такого патрона представлена на рис. 3.9. К корпусу 1 прикреплены фланец 2 и мембрана 3, несущая три кулачка 4. В отверстия мембраны проходят опоры 5, которые служат для установки на фланце базового кольца 7. Внутри патрона размещена крестовина 14, с тремя рычагами 10, на концах которых укреплены клеммовыми зажимами прихваты 9. Крестовина посажена на втулку 12, сцентрированную во фланце по посадке с зазором. Зажим изделия 6 происходит прихватами от действия шести пружин 13 общим усилием 1500...2000 Н.

Раскрепление обрабатываемой детали производит толкатель, проходящий сквозь отверстие шпинделя бабки изделия и входящий своим концом в отверстие втулки 12. При движении вправо втулка вначале заставляет двигаться крестовину, которая сжимает пружины и поворачивает рычаги 10 в шарнирных подшипниках 11 и прихваты отходят от торца детали. При дальнейшем движении втулка доходит до мембраны и выгибает ее, отчего расходятся кулачки и освобождают деталь.

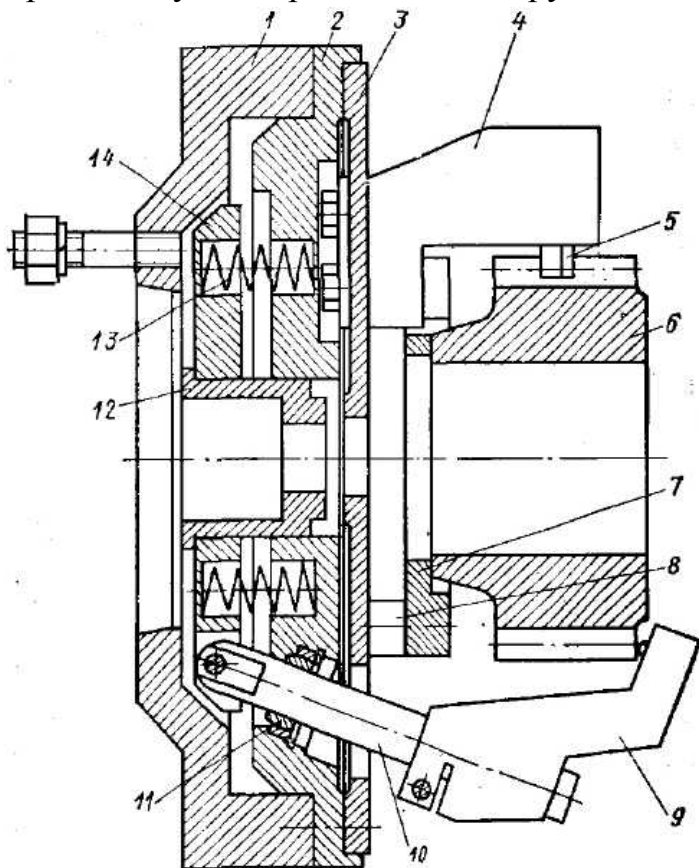


Рис. 3.9. Мембранно-рычажный патрон

Отверстия в длинных деталях шлифуют с помощью *люнетов*, являющихся принадлежностью станка. Наладка станка на обработку отверстия в детали «шпиндель» показана на рис. 3.10. Люнеты 4 устанавливают на станине станка, добиваясь их соосного расположения с помощью специальной оправки. Обрабатываемую заготовку 7 базируют цилиндрической и конической шейками в отверстиях биметаллических вкладышей 5 и 6. Отверстия вкладышей пригоняют по поверхностям изделия с зазором 0,01 мм. Крутящий момент от шпинделя к за-

готовке передают гибким валиком 2 (см. рис. 4.10-а), изготовленным из проволоки диаметром 4 – 6 мм длиной 300 мм. Соединение происходит через планшайбу 1 и поводок 3, закрепляемый клеммовым зажимом на конце обрабатываемого вала. Второй вариант связи показан на рисунке 4.10-б. Гибкая связь заготовки со шпинделем станка позволяет компенсировать некоторое несовпадение осей шлифуемой детали и шпинделя. Это позволяет шлифовать конические отверстия без разворота бабки изделия

готовке передают гибким валиком 2 (см. рис. 4.10-а), изготовленным из проволоки диаметром 4 – 6 мм длиной 300 мм. Соединение происходит через планшайбу 1 и поводок 3, закрепляемый клеммовым зажимом на конце обрабатываемого вала. Второй вариант связи показан на рисунке 4.10-б. Гибкая связь заготовки со шпинделем станка позволяет компенсировать некоторое несовпадение осей шлифуемой детали и шпинделя. Это позволяет шлифовать конические отверстия без разворота бабки изделия

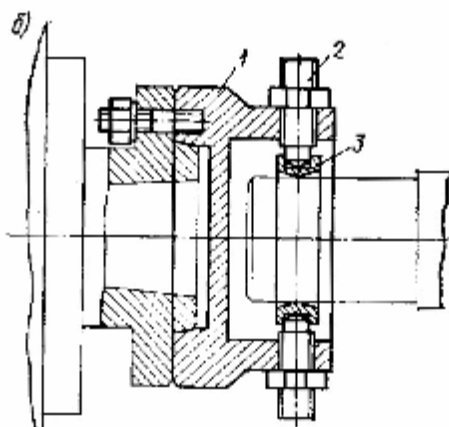
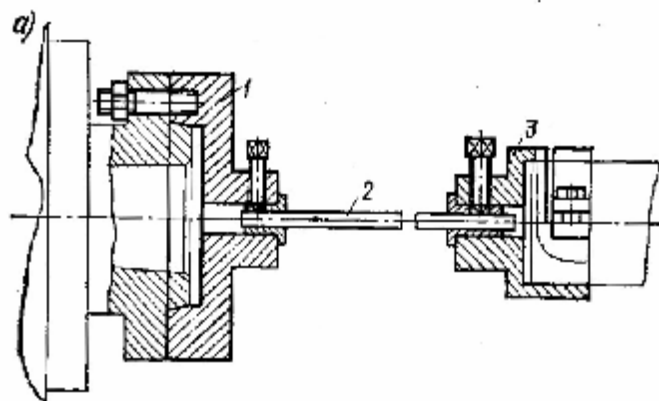
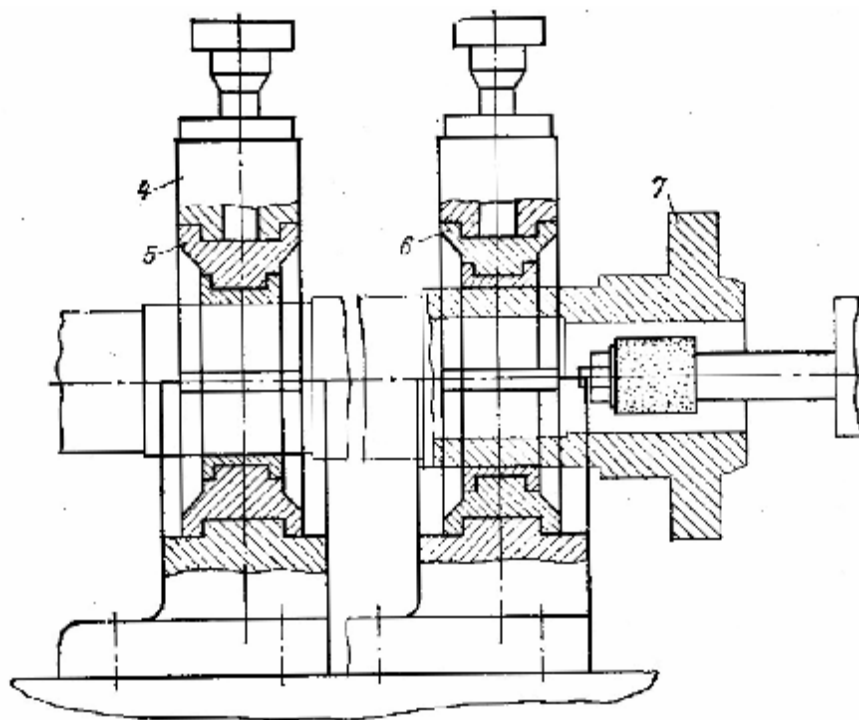


Рис. 3.10. Наладка для шлифования отверстия в длинной детали

Для плоского шлифования применяются различные приспособления для установки и закрепления заготовок на столе станка, делительные устройства для поворота заготовки в нужное положение при шлифовании нескольких поверхностей. В зависимости от типа производства применяют универсальную или специальную оснастку.

Установку и закрепление заготовки можно производить непосредственно на столе станка с помощью прижимных планок, однако такой метод требует больших затрат времени. Из универсальных приспособлений чаще всего применяют электромагнитные плиты и тиски.

Закрепление заготовок на электромагнитной плите основано на следующем принципе. Подковообразный железный сердечник с обмоткой намагничивают, пропуская через его обмотку постоянный ток. Такой

сердечник способен притягивать к себе стальные и чугунные заготовки и обеспечивать их закрепление магнитными силами. Электромагнитная плита представляет собой группу подковообразных сердечников, полюса которых выведены на ее верхнюю рабочую плоскость и изолированы друг от друга немагнит-

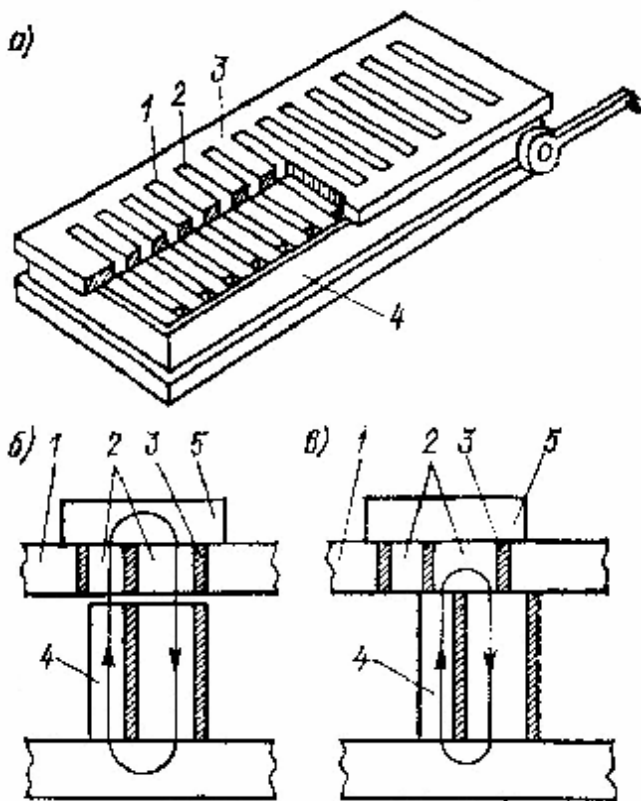


Рис. 3.11. Магнитная плита: а– общий вид; б– положение магнитов и действие магнитного потока при закреплении заготовки; в– положение магнитов и действие магнитного потока при установке и снятии заготовки; 1,2– железные пластины; 3 – немагнитные прокладки между пластинами; 4– магниты; заготовка

готовок на электромагнитных плитах используют различные угольники, призмы, планки и синусные линейки. Рабочие плоскости (зеркало) электромагнитных и магнитных плит следует периодически перешлифовывать на самом станке во включенном состоянии.

Лекальные тиски (рис. 3.12) отличаются от обычных машинных тисков точностью изготовления и возможностью их установки на боковые поверхности. Неподвижная губка тисков составляет единое целое с основанием 1. В основании имеются пазы для перемещения подвижной губки 2 винтом 3. Основание имеет резьбовые отверстия для крепления тисков к различным приспособлениям. Все плоскости тисков обработаны под углом 90° и могут быть использованы в качестве установочных элементов.

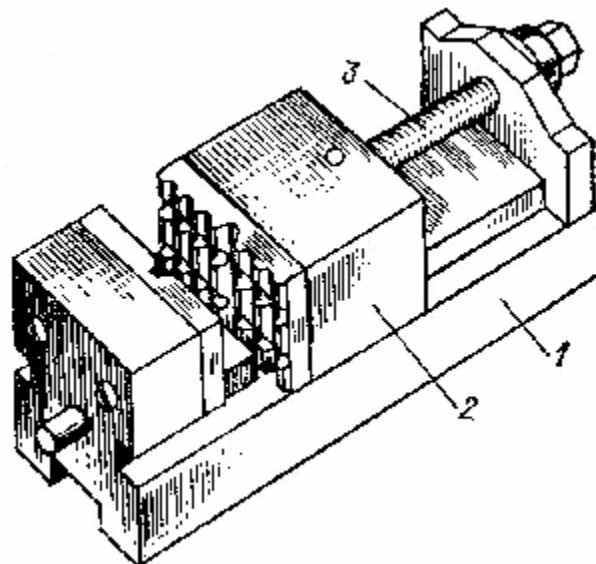


Рис. 3.12. Лекальные тиски

ными сплавами (цинком, баббитом и др.), благодаря чему магнитные силы не рассеиваются в плите, а направляются непосредственно на заготовку. Электромагнитная плита может закреплять заготовки из магнитных металлов при условии достаточно большой площади контакта. Различные конструкции и размеры электромагнитных плит обеспечивают закрепление разных заготовок.

Кроме электромагнитных плит, на плоскошлифовальных станках применяют магнитные плиты (рис. 3.11), состоящие из набора постоянных магнитов и не требующие применения специальных генераторов и выпрямителей. Однако сила притяжения магнитными плитами слабее по сравнению с электромагнитными. В качестве вспомогательных элементов при установке за-

Для установки заготовок в центрах при шлифовании на плоскошлифовальных станках с прямоугольным столом и горизонтальным шпинделем применяют универсальное приспособление, показанное на рис. 3.13. Приспособление состоит из массивной плиты 4, на которой установлены две стойки 2 и 5 со срезанными центрами 1. Стойки закрепляются в заданном положении на плите эксцентриковым зажимом с помощью рукоятки 3.

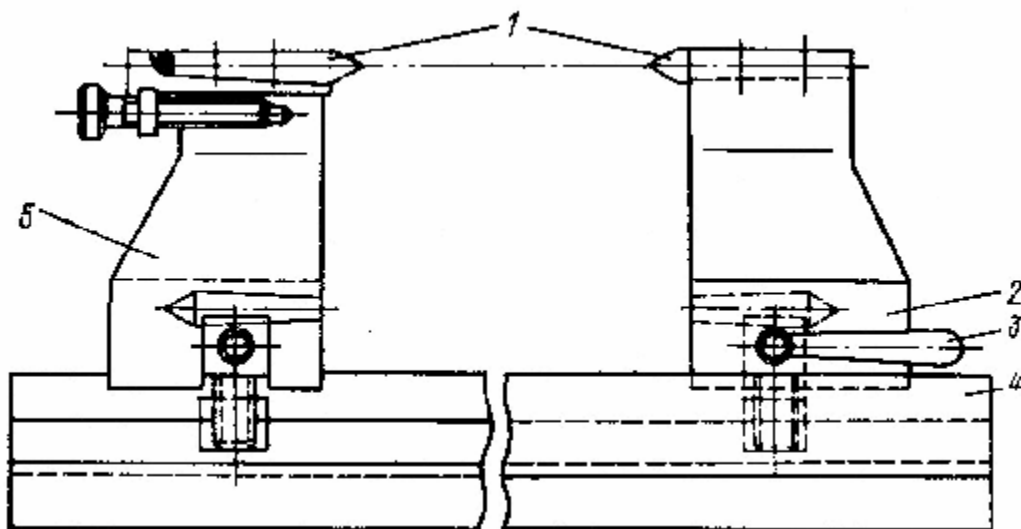


Рис. 3.13. Приспособление для шлифования в центрах

Для установки заготовок на столе станка с наклоном шлифуемой поверхности под разными углами широко применяют синусные приспособления (рис. 3.14, а, б) в сочетании с угольниками, центровыми приспособлениями и другими устройствами. Необходимый угол задается с помощью мерных плиток и роликов.

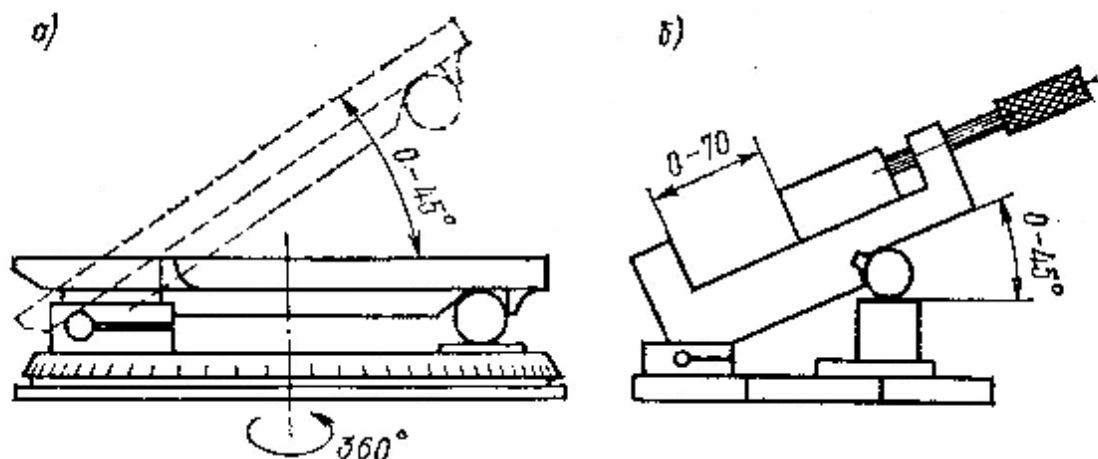


Рис. 3.14. Синусные приспособления: а- поворотный синусный столик; б- прецизионные синусные тиски

4. РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ВЫБОРА СПОСОБА И ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕЖИМА ПРАВКИ

При шлифовании вследствие изнашивания изменяется микро- и макрогеометрия рабочей поверхности шлифовального круга, а, следовательно, и его эксплуатационные свойства. Для их восстановления шлифовальный круг периодически подвергается правке. Особенно велика роль правки при врезном шлифовании, когда погрешности профиля круга копируются обработанной поверхностью. От правильного выбора средств и режимов правки зависят не только точность и шероховатость, но и производительность обработки, расход шлифовальных кругов и экономическая эффективность процесса шлифования. Широко применяемые шлифовальные круги на керамической связке, твердостью CM2...CT2 в основном расходуются не в процессе шлифования, где их износ очень мал, а в процессе правки. На правку расходуется от 45 до 80 % полезного объема абразивных кругов, а затраты времени на правку могут достигать до 30% от времени обработки.

Метод и режим правки выбирают в зависимости от требований к точности и шероховатости обрабатываемой поверхности. Правку абразивных кругов можно осуществить *обтачиванием* алмазным инструментом, *обкатыванием* металлическими, твердосплавными или абразивными дисками, *шлифованием* кругами из карбида кремния или алмазными роликами (брусками), *накатыванием* стальными профильными роликами.

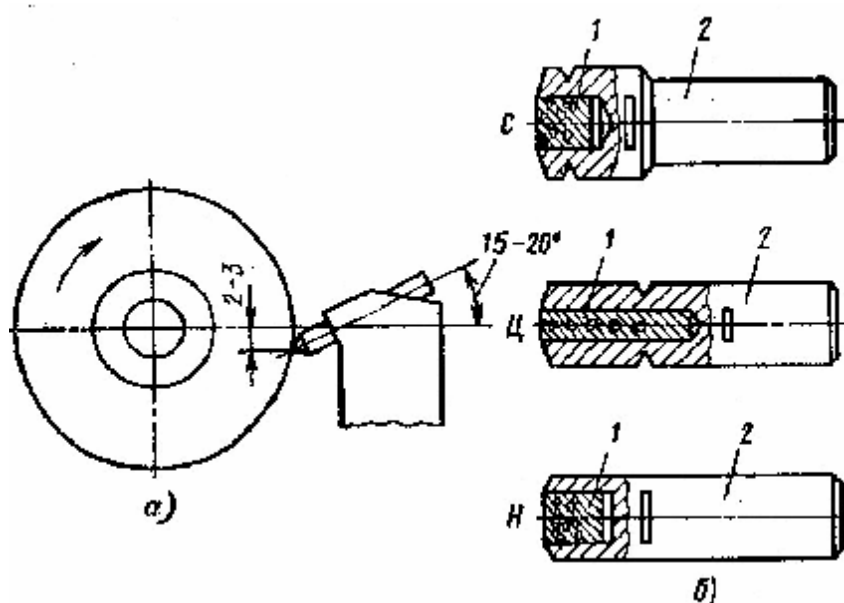


Рис. 4.1. Схема правки обтачиванием

а) установка алмазно-металлического карандаша на станке; б) виды алмазно-металлических карандашей: 1 – алмазноносная вставка, 2 – оправка

распространение имеют алмазно-металлические карандаши, в которых в определенном порядке размещены кристаллы алмазов, прочно соединенные металлической связкой с державкой.

В зависимости от расположения алмазных кристаллов различают четыре типа алмазно-металлических карандашей: Ц - с алмазами, расположенными

ем стальными профильными роликами.

Правку обтачиванием (рис. 4.1) выполняют по схеме токарной обработки. Этот наиболее точный метод применяют для автоматической и профильной правки, а также при шлифовании по 5-му и 6-му квалитетам допуска ($Ra=0,16...0,63$). Правящим инструментом являются: крупные алмазные зерна, зачеканенные в оправки; алмазные резцы; либо алмазно-металлические карандаши. Наибольшее

цепочкой; С - с алмазами, расположенными по 3...5 штук слоями, которые могут перекрываться или не перекрываться; Н - с неориентированным расположением алмазов. Каждый тип карандашей подразделяют на марки, отличающиеся массой и количеством кристаллов алмаза, а также размерами державки.

В процессе правки алмазно-металлические карандаши изнашиваются (на рабочих поверхностях алмазных зерен образуются площадки). Поэтому карандаши обычно устанавливают так, чтобы их ось была наклонена под углом в сторону вращения шлифовального круга (рис. 4.1-а). Это позволяет, периодически поворачивая карандаш вокруг оси на $40...60^\circ$, вводить в работу незатупившиеся грани алмаза (восстанавливать задний угол). Такая установка карандашей снижает износ алмаза, предохраняет его от перегрузки и исключает вибрации при правке. Для карандашей типа Ц угол наклона равен $10...15^\circ$, а для типов С и Н – $2...5^\circ$.

Алмазы с естественными гранями, закрепленные в оправках, имеют на много большую износостойкость по сравнению с алмазно-металлическими карандашами, так как их устанавливают в оправке так, чтобы плоскости сколов кристаллов не совпадали с направлением сил, действующих на алмаз при правке. Для закрепления алмазов в оправках применяют металлический зажим, пайку или чеканку.

Правка методом обкатки (рис. 4.2-б) представляет собой процесс дробления и скалывания абразивных зерен и связки на рабочей поверхности круга правящим инструментом, прижатым к вращающемуся шлифовальному кругу с определенной силой и вращающимся в результате действия сил трения. Чаще всего в качестве правящего инструмента при правке обкаткой применяется монолитный твердосплавный ролик, ось которого скрещивается с осью шлифовального круга под углом $5...10^\circ$. Такое расположение оси ролика несколько увеличивает производительность правки, но при этом повышается износ правящего инструмента.

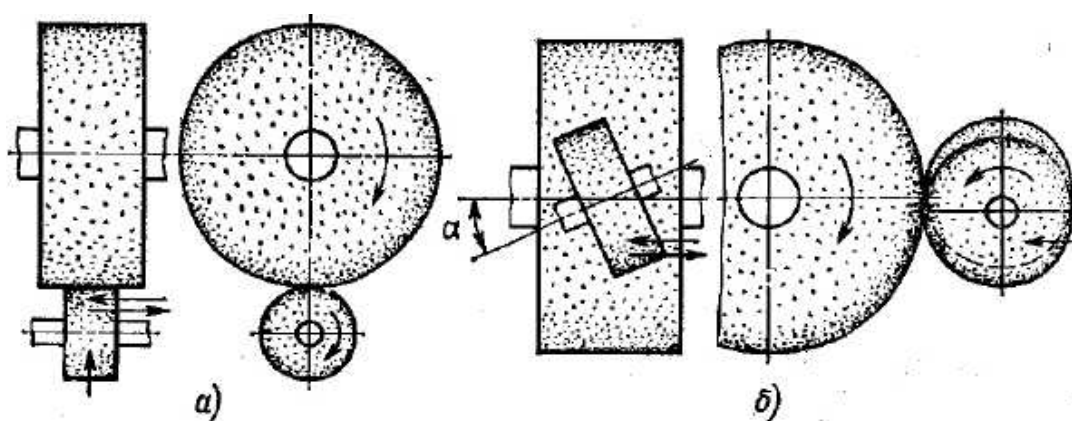


Рис. 4.2. Схемы методов правки шлифовальных кругов
а) метод шлифования; б) метод обкатки

Правку кругов методом обкатки чаще всего применяют как предварительную, когда необходимо снять относительно большой слой абразива. Можно

применять этот метод правки для кругов, используемых при предварительном или полуступенчатом шлифовании с $Ra > 1,25$ мкм.

Правка методом шлифования (рис. 4.2-а) представляет собой процесс срезания и дробления абразивных зерен рабочей поверхности шлифовального круга вращающимся правящим инструментом, который получает движение от отдельного привода. В отличие от метода обкатки, в данном случае на рабочей поверхности шлифовального круга действуют не только радиальные, но и значительные тангенциальные силы. В качестве правящего инструмента чаще всего применяют ролик с алмазносносным слоем, который соединен с корпусом специальной твердосплавной связкой. В условиях массового производства применяют алмазные ролики, позволяющие методом врезания править сразу несколько рабочих поверхностей круга, что сокращает затраты времени на правку.

Метод непрерывной врезной правки таким роликом в сочетании с воздействием на рабочую поверхность круга струи СОЖ под высоким давлением в 20...30 раз повышает режущие свойства шлифовального круга по сравнению с обычными методами периодической правки. На плоскошлифовальных станках вместо алмазного ролика с отдельным приводом можно для фасонной правки круга применять алмазный фасонный брусок, который устанавливается на столе станка соосно обрабатываемой заготовке. Правка методом шлифования обеспечивает точность профиля шлифуемой детали до 0,01...0,02 мм и значения параметра шероховатости $Ra = 0,32...0,63$ мкм. Достижимая точность профиля зависит от точности изготовления алмазных роликов и их биения.

Правка методом накатывания рабочей поверхности круга представляет собой процесс дробления абразивных зерен и связки при относительно медленном вращении металлического правящего ролика (рис. 4.3) и прижатого к нему с определенной радиальной силой шлифовального круга. Данный метод применяется исключительно для правки профильных шлифовальных кругов. Профилирование ведут при скорости накатывания 1...1,5 м/сек и поперечной подаче 0,05...0,1 мм/мин. Правящий ролик имеет профиль шлифуемой детали. Износ ролика вследствие незначительного проскальзывания при правке сравнительно невелик, поэтому одним и тем же роликом можно править многократно. В зависимости от конструктивных особенностей станка принудительное вращение при накатке сообщают либо шлифовальному кругу, либо ролику.

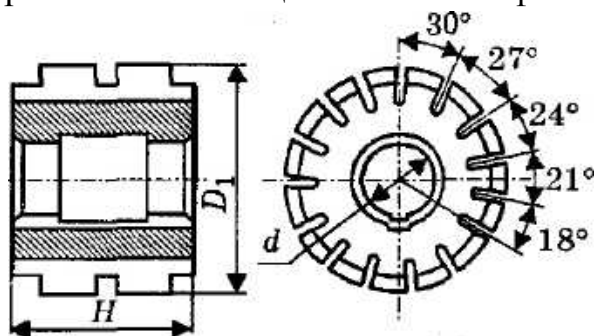


Рис. 4.3. Ролик для накатывания

(У8А, ХГ, Р6М5). Хотя закаленные до высокой твердости (HRC 60 – 64) роли-

Круги, заправленные методом накатывания, обладают достаточно высокими режущими свойствами и обеспечивают шлифование с $Ra 1,25$ мкм. Наличие канавок с неравномерным шагом на ролике интенсифицирует процесс профилирования круга. Для изготовления роликов применяют термически улучшенные стали марок 45 и 40Х или закаленные инструментальные стали

ки более изнаноустойчивы, но стоят дороже и для их изготовления требуются оптико-шлифовальные станки.

Таблица 4.1.

Показатели режима правки кругов обтачиванием

Способ шлифования	Параметр шероховатости Ra, мкм	Правка			
		алмазом		а.-м. карандашом	
		$s_{пр}$	$s_{шт}$	$s_{пр}$	$s_{шт}$
Круглое наружное	0,32...1,25	0,3	0,02	0,4	0,03
Внутреннее	0,32...1,25	1	0,02	1,5	0,03
Плоское	0,08...0,32	0,2	0,01	0,3	0,02

Режимы правки приведены в таблицах 4.1...4.3, где продольная подача алмаза $s_{пр}$ м/мин, а поперечная – $s_{шт}$ мм/дв. ход. Показатели режима правки зависят от требований к шероховатости и метода правки. Число рабочих проходов зависит от снимаемого слоя и колеблется в пределах от 3 до 8. Кроме этого осуществляется несколько проходов (2...4) без поперечной подачи (выхаживающих).

Алмазные и эльборовые круги с прямолинейной образующей рабочей поверхности правят одним из двух методов – шлифованием или обкаткой. Метод шлифования более эффективен для кругов на бакелитовой связке. Высокие режущие свойства круга, который подвергается правке шлифованием, достигаются, когда правящий абразивный круг имеет скорость 20...30 м/с, а подвергаемый правке вращается навстречу со скоростью в 2 раза меньшей. Для правки алмазных и эльборовых кругов сложного профиля на металлической связке наиболее рационально применять методы электроэрозионного или электрохимического профилирования.

Таблица 4.2

Показатели режима правки обкаткой

Правящий инструмент	Показатели режима правки			
	$s_{пр}$	$s_{шт}$ (мм/ход) для зернистости шлифовального круга		
		40	25	16
Круг с материалом зерен 63С	1	0,03	0,025	0,015
Диск твердосплавный	0,5...1	0,025	0,015	0,015
Диск стальной	1...1,5	0,045	0,015	0,015

Для правки шлифовального круга алмазным карандашом применяют различные по своему назначению и сложности приспособления. Для правки периферии и торца круга на станках с прямоугольным столом применяют державки различных конструкций (рис. 4.4, а, б). Державка, изображенная на рис. 4.4, а, состоит из корпуса 5, алмазодержателя 1 и алмазного карандаша 2. Крепится державка болтом 4 на столе станка в Т-образном пазу или на электромагнитной

плите. Поворотом рукоятки 3 производится фиксация алмазодержателя в нужном положении. На рис.4.4,б, в представлено приспособление для угловой правки круга, обеспечивающее различную его форму. Угловая правка производится двумя алмазными карандашами, установленными в алмазодержателях под заданным углом. Подача алмазодержателей производится механически от специального электропривода.

Таблица 4.3

Показатели режима правки шлифованием

Правящий инструмент	Вид шлифования	Показатели режима правки			
		v, м/с	S _{пр}	S _{пп}	
				мм/ход	мм/мин
Алмазный ролик	Окончательное	10	0,3...1	0,02	0,3...0,5
Круг с материалом зерен 63С	Предварительное	0,5...1	1...1,5	0,05	—
	Окончательное	0,5...1	0,5...1	0,03	—

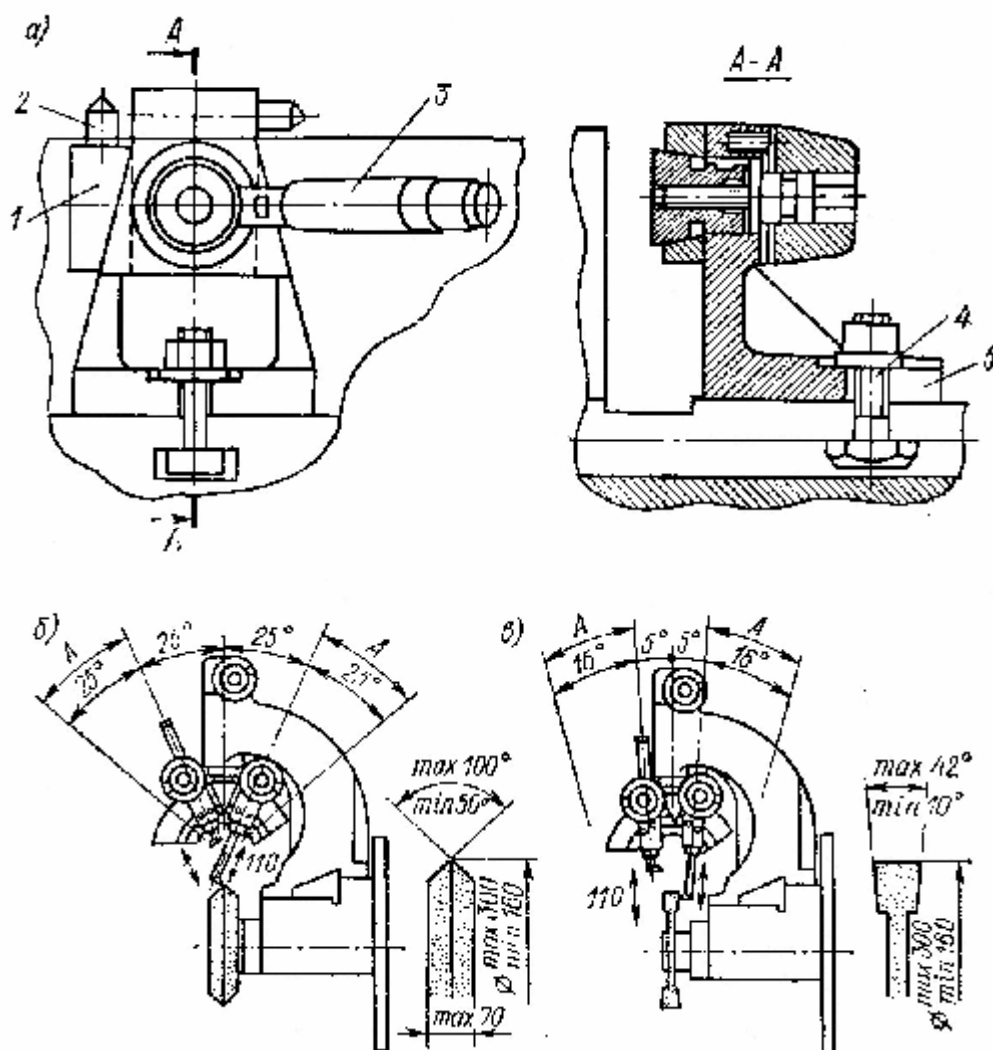


Рис. 4.4. Приспособления для правки шлифовальных кругов

5. РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ВЫБОРА СОСТАВА СОЖ И СПОСОБА ЕЕ ПОДАЧИ

Для отвода из зоны резания выделяющегося тепла, уменьшения трения и удаления отходов шлифования применяют охлаждение различными смазочно-охлаждающими жидкостями (СОЖ). По составу и свойствам СОЖ, применяемые при шлифовании, делят на эмульсии и масла.

Эмульсией называют жидкость, в которой во взвешенном состоянии находятся микроскопические частицы другой жидкости. Основной шлифовальной эмульсии является вода с добавлением небольшого количества специальных присадок, например, обеспечивающих смазочный эффект.

Охлаждающая жидкость, смывая абразивно-металлическую пыль, способствует улучшению качества шлифуемой поверхности и улучшению атмосферы цеха. Охлаждающие жидкости не должны содержать ядовитые примеси, вызывающие кожные заболевания у рабочих, не должны разъедать металл и краску станка. Чем больше поверхность соприкосновения детали со шлифовальным кругом и чем тверже материал обрабатываемой детали, тем большее количество охлаждающей жидкости необходимо подавать в зону шлифования. Охлаждающую жидкость следует равномерно подавать на всю высоту шлифовального круга, в противном случае на поверхности детали появляются царапины. Количество подаваемой жидкости зависит от высоты шлифовального круга: на каждые 10 мм высоты круга расходуют примерно 5—8 л жидкости.

На рис. 5.1 показаны схемы основных способов подачи СОЖ: 1) свободнопадающей струей, поливом (рис. 5.1, а); 2) через поры шлифовального круга (рис. 5.1, б); 3) через торцовые каналы круга (рис. 5.1, в); 4) струйно-напорным внезонным (рис. 5.1, г); 5) с наложением на струю ультразвуковых колебаний (рис. 5.1, д); 6) контактным (рис. 5.1, е); 7) гидроаэродинамическим (рис. 5.1, ж); 8) в растворе СОЖ (рис. 5.1, з).

При подаче СОЖ через поры шлифовального круга жидкость, обладающую хорошими смазочными свойствами, подают к осевому отверстию шлифовального круга. Под действием центробежных сил она протекает через поры на периферию (рис. 5.1, б). При таком охлаждении уменьшается температура детали не только в результате лучшего подвода жидкости, но и вследствие меньшего трения шлифовального круга о поверхность шлифования, что, безусловно, уменьшает опасность появления прижогов и шлифовочных трещин на шлифуемой поверхности.

Один из недостатков этого способа состоит в том, что он не применим для шлифовальных кругов на вулканитовой и бакелитовых связках, так как они не имеют сквозных пор. Кроме того, требуется тщательная очистка СОЖ. В противном случае поры быстро забиваются грязью. Подавать СОЖ следует только при вращающемся круге, а начинать шлифование через 2 – 5 мин после подачи СОЖ, для равномерного заполнения круга жидкостью. Прекращать подачу СОЖ в шлифовальный круг необходимо за несколько минут до выключения станка.

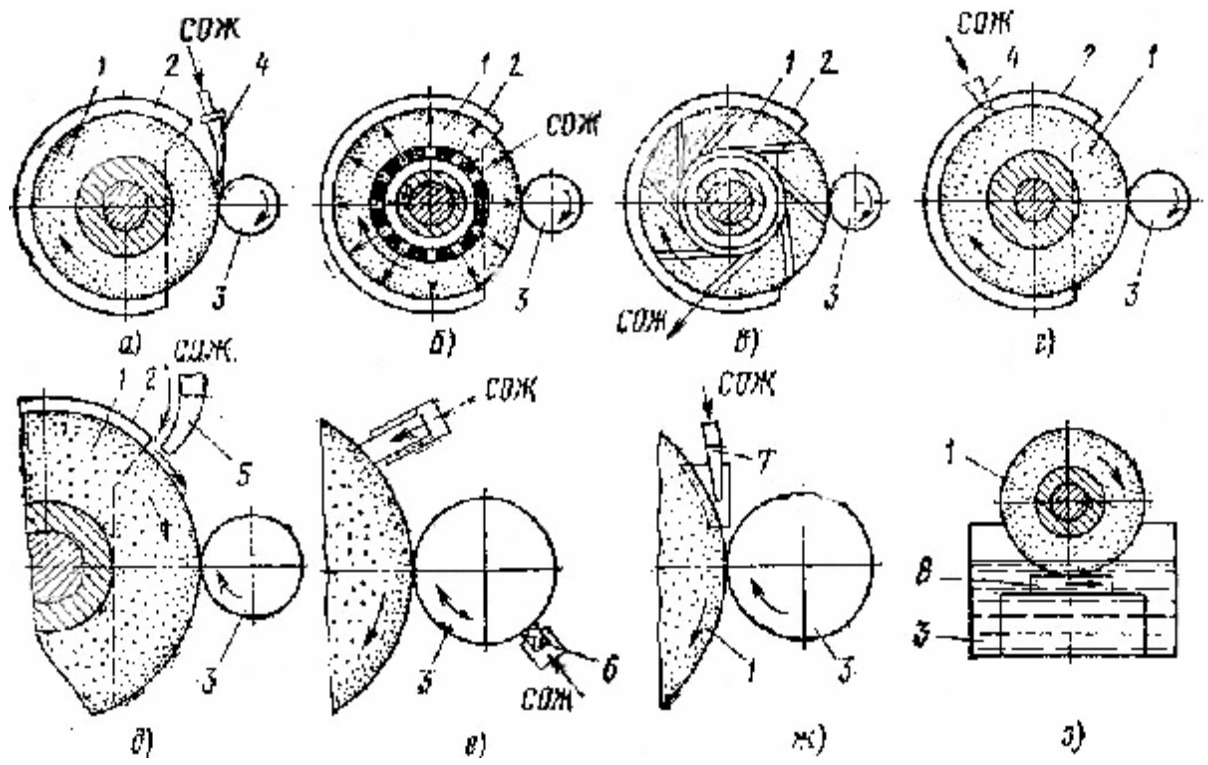


Рис. 5.1. Схемы основных способов подачи СОЖ при шлифовании: 1 – шлифовальный круг; 2 – кожух; 3 – шлифуемая деталь; 4 – сопло; 5 – вибрирующий волновод; 6 – пористый элемент; 7 – насадок; 8 – резервуар.

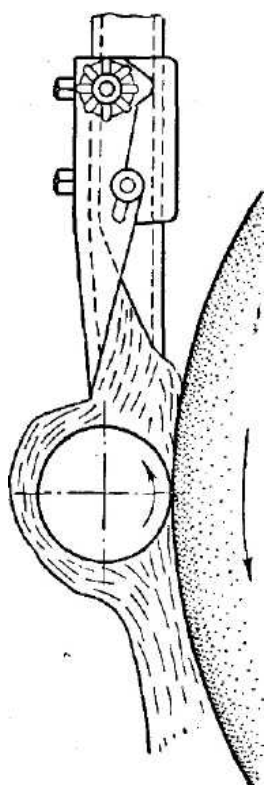


Рис. 5.2. Устройство для подвода охлаждающей жидкости

Подача СОЖ по торцовым капталам (рис. 5.1, в) применяется редко, так как абразивная промышленность не выпускает необходимых абразивных кругов с наклонными каналами на торцах.

При подаче СОЖ струйно-напорным врезонным способом (рис. 5.1, г) СОЖ подают под давлением на рабочую поверхность шлифовального круга вне зоны шлифования через одно или несколько сопел. Струи СОЖ с определенной силой действуют на рабочую поверхность круга, очищая поры и абразивные зерна от частиц металла и отходов шлифования.

При подводе СОЖ контактным способом (рис. 5.1, е) одновременно с поливом зоны шлифования свободно падающей струей СОЖ обладающей хорошими охлаждающими свойствами, на обрабатываемую поверхность вне зоны шлифования непрерывно наносится тончайший слой активной смазки путем поджима к шлифуемой поверхности мягкого пористого материала, пропитанного смазкой.

Для подачи СОЖ гидроаэродинамическим способом (рис. 5.1, ж) используются воздушные потоки, которые создаются шлифовальным кругом. Разогнанная этими потоками СОЖ направляется в узкую часть насадка, где давление повышается настолько, что СОЖ вдавливаются в поверхностный слой шлифовального круга. Откуда поток СОЖ выбрасывается в зону кон-

такта круга со шлифуемой деталью.

Шлифование в среде СОЖ (рис. 5.1, з) применяют главным образом при ленточном и плоском шлифовании.

Загрязненность охлаждающей жидкости металлическими и абразивными отходами очень часто является одной из причин низкого качества отшлифованной поверхности. Необходимо тщательно очищать охлаждающую жидкость. Высокая степень очистки достигается путем длительного отстаивания в отстойниках, фильтрования и магнитной сепарации.

Охлаждающую жидкость для шлифования выбирают в зависимости от материала шлифуемой детали. Далее приводятся некоторые ориентировочные рекомендации по выбору состава охлаждающей жидкости:

а) для чугунных отливок и ковкого чугуна применяют 1%-ный содовый раствор или 1,5%-ную эмульсию из эмульсола;

б) для конструкционной и легированной инструментальной стали – 1%-ный содовый раствор, 1,5%-ную эмульсию из эмульсола или 0,5%-ный содовый раствор, содержащий 0,5% мыла;

в) для латуни и бронзы – 1%-ный содовый раствор, 1,5%-ную эмульсию из эмульсола или легкое минеральное масло;

г) для алюминия, дюраля – 1%-ный содовый раствор, легкое минеральное масло или эмульсию, содержащую 15% эмульсола, 5% сульфозрезола, 5% скипидара и 75% воды.

В последнее время появились смазочно-охлаждающие жидкости, которые по своим свойствам превосходят существующие товарные образцы. К их числу относятся углеводородные жидкости (масла) МР-1 и ОСМ-3, а также эмульсии Укринол-1, Аквол-2 и др.

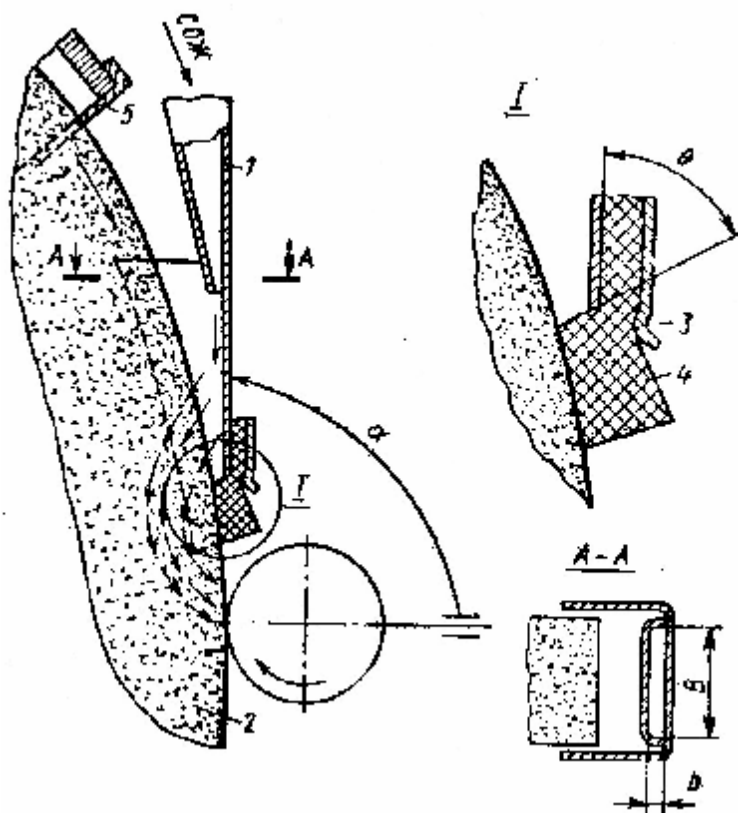


Рис. 5.3. Устройство для подачи СОЖ гидроэлектродинамическим способом

Схема одного из устройств для подачи СОЖ гидроэлектродинамическим способом показана на рисунке 5.3. Удлиненное клиновидное сопло (насадок) в нижней части выполнено П-образной формы и охватывает по торцам шлифовальный круг 2. К нижней части сопла 1 плоской пружиной 3 прикреплена пористая эластичная заслонка 4, свободный конец которой слегка прижимается к поверхности не вращающегося шлифовального круга. Плоская пружина 3 по-

зволяет производить быструю смену пористой эластичной заслонки, срок службы которой 100–200 ч работы станка. Для предотвращения разбрызгивания СОЖ, выносимой из-под кожуха шлифовальным кругом, на кожухе устанавливают отражатель 5.

Угол расположения сопла a относительно линии центров шлифовального круга и обрабатываемой детали должен находиться в пределах $75—95^\circ$. Ширину сопла B на выходе определяют в зависимости от высоты шлифовального круга и окружной скорости воздушного потока. При шлифовании со скоростями 30—35 м/с рекомендуется выполнять размер B на 4—5 мм меньше высоты круга. Размер b выходного сечения сопла определяют в зависимости от требуемого расхода и давления СОЖ; он не должен быть больше 1—1,5 мм. Наиболее благоприятные условия очистки и пропитки (смачивания) рабочей поверхности шлифовального круга СОЖ создаются при угле атаки струи (потока) СОЖ равной 60° .

6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ

Процесс шлифования является сложной системой, состоящей из взаимосвязанных подпроцессов: 1) удаления материала; 2) упругого деформирования технологической системы; 3) относительного перемещения элементов технологической системы; 4) теплообмена; 5) изнашивания шлифовального круга; 6) макро- и микроформообразования. На следующей ступени классификации каждый из указанных подпроцессов можно в свою очередь разделить на компоненты – более простые процессы. Для эффективного управления процессом шлифования необходимы математические модели, отражающие наиболее важные связи между показателями его компонентов. Каждая модель отражает сложную систему в определенном диапазоне условий и требований, включая только те параметры и отношения, которые необходимы для решения инженерной технологической задачи.

Отношения и взаимосвязи между параметрами подпроцессов устанавливаются либо чисто эмпирически, либо выявляются логически, но с привлечением данных эксперимента. Они описываются с помощью уравнений, неравенств, а также с помощью графов, блок-схем, графиков, программ для ЭВМ и т.д.

Одной из основных является модель производительности удаления материала или, в соответствии с ГОСТ 21445 – 84 – модель режущей способности шлифовального круга. Экспериментально установлено, что режущая способность шлифовального круга (т.е. объемная производительность шлифования Q) определяется радиальной силой P_y , с которой рабочая поверхность круга прижимается к шлифуемой поверхности заготовки.

В общем случае зависимость между Q и P_y с достаточной для практических целей точностью можно описать следующим выражением

$$Q = K_p \cdot P_y \cdot (1 + I \cdot P_y), \quad (6.1)$$

где K_p – коэффициент режущей способности; I – коэффициент нелинейности.

Во многих случаях можно ограничиться линейной моделью режущей способности, т.е. положить $I = 0$. Тогда

$$Q = K_p \cdot P_y. \quad (6.2)$$

Чем "острее" шлифовальный круг, т.е. чем выше значение K_p , тем выше объемная производительность процесса шлифования при тех же значениях радиальной силы P_y . Значение K_p зависит от характеристик шлифовального круга, способа и режима правки, скорости шлифовального круга и т.д. С увеличением размеров абразивных зерен и твердости шлифовального круга значение K_p снижается, а с увеличением скорости шлифования для большинства сталей увеличивается. Однако для некоторых марок стали оно незначительно. Кроме того, имеют место случаи, когда увеличение скорости шлифования V ведет к снижению коэффициента режущей способности. Например, при шлифовании стали ШХ15.

В зависимости от сочетания твердости шлифовального круга и показателей режима шлифования и правки возможны следующие режимы работы круга: шлифование с затуплением круга; шлифование с полным или частичным самозатачиванием круга; шлифование с восстановлением режущей способности. Главным параметром, определяющим режим работы круга, является критическая радиальная сила в зоне шлифования $P_{ук}$. Критическая радиальная сила увеличивается при увеличении твердости шлифовального круга и скорости шлифования. Если фактическая радиальная сила больше критической, то круг работает с полным самозатачиванием, а если меньше – то в режиме с частичным самозатачиванием или с затуплением (по мере уменьшения P_y). Следовательно, при увеличении производительности удаления материала заготовки Q круг, работавший в режиме затупления, переходит в режим частичного, а затем полного самозатачивания.

Зависимость K_p от времени работы круга с постоянной радиальной силой P_y отражается следующей моделью

$$K_p = (K_{pn} - K_{pc}) \cdot \exp(-M \cdot t) + K_{pc}, \quad (6.3)$$

где K_{pn} – начальное (после правки) значение коэффициента режущей способности; K_{pc} – стабильное (зависящее от радиальной силы) значение K_p ;

$$M = (\ln 2) / t_{0,5} = 0,6931 / t_{0,5}, \quad (6.4)$$

$t_{0,5}$ – время работы шлифовального круга, в течение которого текущее значение коэффициента режущей способности станет равным $K_p = (K_{pn} + K_{pc}) / 2$.

$t_{0,5}$ Анализ результатов экспериментов позволяет утверждать, что $t_{0,5}$ практически не зависит от значения радиальной силы P_y . А зависимость K_{pc} от P_y можно отразить следующей моделью

$$K_{pc} = K_{pcm} \cdot [1 - \exp(-0,6391 \cdot P_y^2 / P_{y1}^2)] , \quad (6.5)$$

где K_{pcm} – максимальное для данных характеристик шлифовального круга и шлифуемого материала значения K_{pc} ; P_{y1} – значение радиальной силы, при котором $K_{pc} = K_{pcm} / 2$.

Значение K_{pn} зависит от характеристики круга, свойств материала заготовки и скорости подачи алмаза при правке. Эта зависимость отражается следующей моделью

$$K_{pn} = K_{pcm} \cdot S^2 / (a + b \cdot S^2) , \quad (6.6)$$

где S – скорость продольной подачи при правке, м / мин ; a и b – экспериментальные параметры модели.

Модель 6.3 (с учётом моделей 6.4 и 6.5) удобнее для использования и анализа представлять в безразмерной форме.

$$k_p = \exp(G \cdot t) + k_{pcm} \cdot [1 - \exp(G \cdot t)] \cdot [1 - \exp(G \cdot p^2)] , \quad (6.7)$$

где $k_p = K_p / K_{pn}$; $k_{pcm} = K_{pcm} / K_{pn}$; $t = t / t_{0,5}$; $p = P_y / P_{y1}$; $G = -\ln 2$.

Таблица 6.1.

Значения K_{pcm} мм³ / (с Н)

Обрабатываемый материал	Шлифовальные круги	Круглое шлифование	Плоское шлифование	Внутреннее шлифование
Углеродистые стали	Электрокорундовые, на керамической связке, твердостью СМ1 и СМ2	0,5	1,1	1,2
Легированные стали	Те же	0,31	0,82	0,95
Чугун	Круги из карбида кремния	–	0,6	0,75
Быстрорежущие стали	Те же	0,1	0,21	–
	Эльборовые на бакелитовой связке	0,08	0,18	–
	Алмазные на бакелитовой связке	0,02	0,03	–

Для случая шлифования с постоянной производительностью ($S = Const$)

$$k_p = \exp(G \cdot t) + k_{рсм} \cdot [1 - \exp(G \cdot t)] \cdot [1 - \exp(G \cdot p_n^2 / k_p^2)] . \quad (6.8)$$

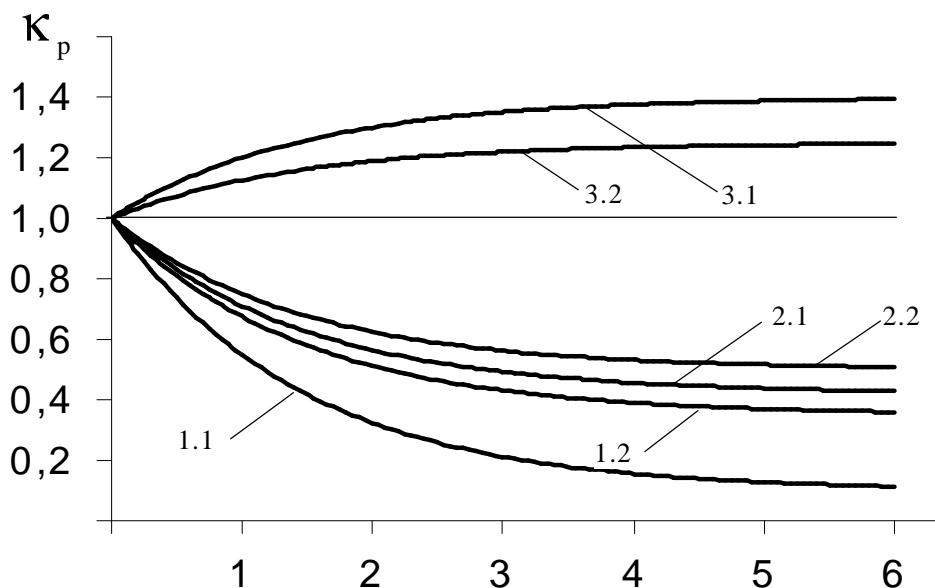


Рис. 6.1. Изменение относительного коэффициента режущей способности при шлифовании с постоянной радиальной силой (1.1; 2.1; 3.1) и с постоянной подачей (1.2; 2.2; 3.2). (1.1 и 1.2) – режим затупления, (2.1 и 2.2) – режим частичного самозатачивания, (3.1 и 3.2) – режим восстановления

Так как k_p входит в правую и левую части модели 8, его значение можно определить только численно, например, методом итераций или методом прямого поиска с переменным шагом.

Влияние значения на характер зависимости k_p от времени показано на рис. 6.1. При шлифовании в режиме затупления или частичного самозатачивания

влиянием размерного износа шлифовального круга на производительность удаления материала заготовки Q обычно пренебрегают, так как размерный износ круга очень мал, по сравнению с толщиной снимаемого слоя (припуском). Однако при внутреннем шлифовании в режиме полного самозатачивания этого делать нельзя, так как размерный износ круга имеет тот же порядок, что и сьем металла с заготовки.

Важной для управления процессом шлифования является модель микроформообразования, связывающая параметр шероховатости с радиальной силой шлифования, приходящейся на единицу ширины зоны контакта круга с деталью. Эксперименты показали, что увеличение радиальной силы увеличивает показатель шероховатости Ra , а увеличение скорости шлифования существенно его снижает. Значительное влияние на шероховатость шлифованной поверхности оказывает скорость продольной подачи при правке круга, которая обуславливает не только начальное значение Ra сразу после правки, но и характер изменения шероховатости от времени работы круга (рис. 6.2). После правки в начале шлифования происходит «приработка» круга. Затем наступает второй период, характеризующийся стационарной работой с монотонным увеличением показателя шероховатости.

Экспериментально доказано, что существует такое значение скорости продольной подачи при правке, которое обеспечивает приблизительное равенство начального и стабильного параметра шероховатости.

С достаточной для практических целей точностью экспериментальные зависимости Ra от показателей условий шлифования можно отразить моделью типа

$$Ra = (Ra_{нач} - Ra_{см}) \cdot \exp(-C_1 \cdot t) + Ra_{см} \cdot \exp(C_2 \cdot t), \quad (6.9)$$

где $Ra_{нач}$ – начальная шероховатость, которая зависит в основном от показателей режима и способа правки, а также от отношения радиальной силы P_y к ширине шлифования B ; $Ra_{см}$ «стабильная» шероховатость, которая зависит в основном от отношения радиальной силы P_y к ширине шлифования B ; C_1 – параметр, характеризующий длительность периода «приработки», который обу-

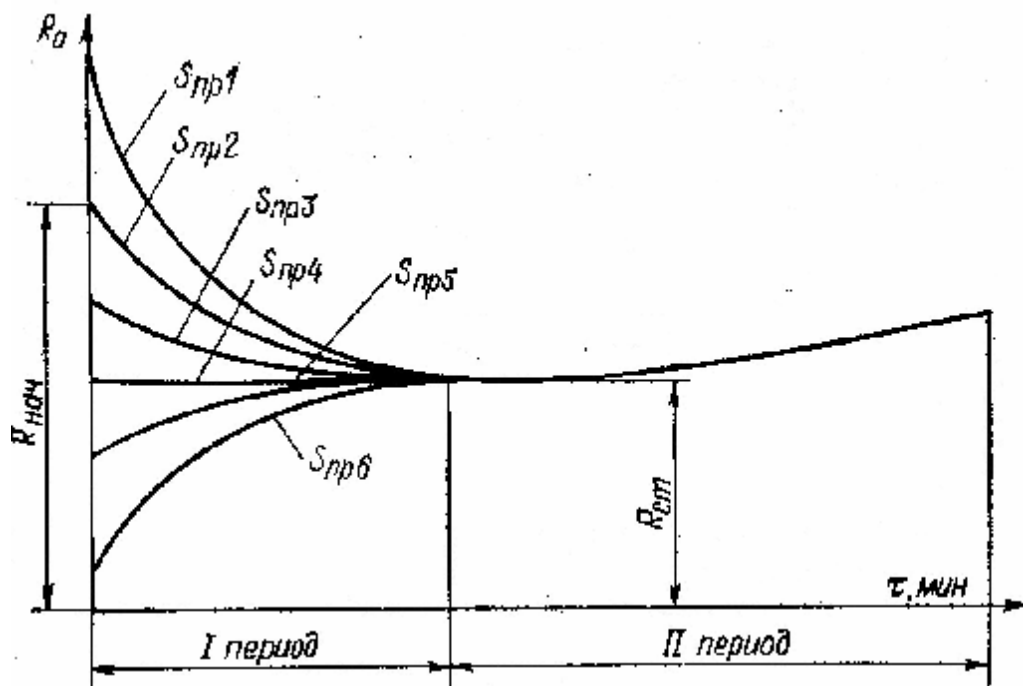


Рис. 6.2. Зависимость параметра шероховатости Ra от времени t работы круга после правки при его разных продольных подачах ($S_{пр1} > S_{пр2} > \dots > S_{пр5}$)

словлен значениями показателей режима шлифования; C_2 – параметр, характеризующий интенсивность увеличения показателя шероховатости, который зависит от твердости шлифовального круга и отношения радиальной силы P_y к ширине шлифования B ; t – время шлифования после правки шлифовального круга.

Экспериментальная модель для оценки $Ra_{см}$ имеет вид

$$Ra_{см} = Ra_0 + K_r \cdot P_y / B, \quad (6.10)$$

где Ra_0 и K_r – параметры модели.

Если круг работает в режиме полного самозатачивания, то шероховатость шлифованной поверхности существенно зависит от показателей характеристики круга: зернистости, твердости и структуры. В таких условиях шероховатость возрастает с увеличением номера зернистости (в степени 0,5...0,7), с уменьшением твердости и процентного содержания зерен в объеме круга (в степени 0,5... 1).

7. НАЗНАЧЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕЖИМА ШЛИФОВАНИЯ

Особенностью врезного и многопроходного шлифования является переменность производительности процесса удаления материала (съема припуска) в течение времени (цикла) обработки одной заготовки. Производительность изменяется вследствие изменения поперечной (вертикальной) подачи s и упругой деформации системы СПИД (под действием силы P_y).

Закон изменения поперечной подачи будем называть алгоритмом управления съемом припуска. Наиболее часто в практике применяется *ступенчатый алгоритм управления съемом припуска* (СТАЛ), который состоит из ряда подач, последовательно уменьшающихся от начала цикла съема припуска к его концу. Для круглого врезного шлифования наиболее общий СТАЛ показан на рис. 7.1. Он включает подачу s_{11} в течение времени t_{11} (этап ускоренного врезания), подачу s_1 , в течение времени t_1 (этап предварительного шлифования), подачу s_2 в течение времени t_2 (чистовое шлифование) и подачу s_3 , чаще всего равную нулю, в течение времени t_3 (этап выхаживания).

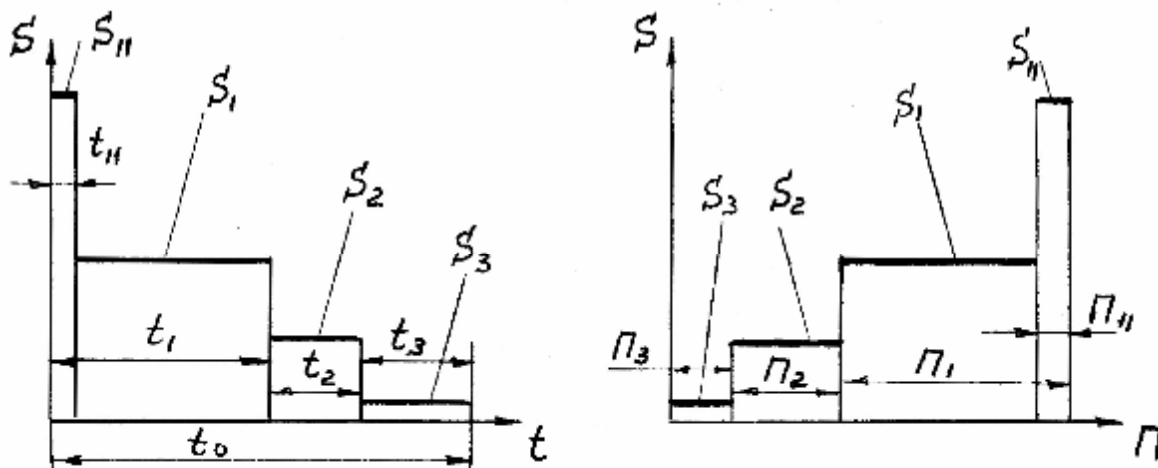


Рис. 7.1. Схема изменения подачи в СТАЛП круглого врезного шлифования

Вследствие упругой деформации (y) технологической системы под действием радиальной силы P_y производительность шлифования Q изменяется за время цикла обработки не так, как меняется подача s (рис. 7.1), то есть имеют место переходные процессы, когда при постоянной подаче производительность Q изменяется. Закон изменения Q на каждом этапе можно установить путем решения дифференциального уравнения баланса скоростей.

Рекомендуемые показатели режима шлифования и получаемые при этом показатели качества шлифованной поверхности приведены в таблице 7.1. Ниже приведены алгоритмы расчета показателей режима шлифования для различных методов шлифования.

Таблица 7.1

Показатели режима шлифования и качества обработки

Код способа и вида шлифования	Показатели режима шлифования			Показатели качества шлифованной поверхности	
	$S_{\text{рад}}$, мкм / проход или оборот заг.	$S_{\text{поп}}$, мм / ход или мм / оборот заг.	$V_{\text{прод}}$, м / мин	Квалитет точности размера	Показатель шероховат. RA
КНП-п	10...25	(0,3...0,7)Н	12...25	8...9	2,5...6,3
КНП-ч	5...15	(0,2...0,4)Н	15...55	6...7	0,2...1,25
КНП-т	2...5	(0,1...0,7)Н	10...20	5...6	0,05...0,32
КНВ-п	2,5...8	–	30...50	8...9	2,5...6,3
КНВ-ч	1...5	–	20...40	6...7	0,2...1,25
КНВ-т	0,2...0,6	–	15...30	5...6	0,05...0,32
КВП-п	5...20	(0,4...0,7)Н	20...40	8...9	3,2...6,3
КВП-ч	2,5...10	(0,25...0,4)Н	20...40	6...7	0,32...1,6
КВП-т	1...3	(0,1...0,2)Н	20...40	5	0,08...0,32
КВВ-п	1,5...6	–	30...50	8...9	3,2...6,3
КВВ-ч	0,6...1,5	–	30...50	6...7	0,32...1,6
КВВ-т	0,2...0,5	–	30...50	5	0,08...0,32
ППП-п	15...40	(0,4...0,7)Н	8...30	8...10	1,6...6,3
ППП-ч	5...15	(0,2...0,4)Н	15...20	6...7	0,32...1,6
ППП-т	2...5	(0,1...0,2)Н	15...25	5...6	0,06...0,32
ПВП-п	8...20	–	10...30	8...10	1,6...6,3
ПВП-ч	1,5...6	–	15...25	6...7	0,32...1,6
ПВП-т	0,3...1	–	10...30	5...6	0,06...0,32

Примечание. Коды способов шлифования: КНП – круглое наружное с продольной подачей в долях ширины Н шлифовального круга; КНВ – круглое наружное врезное; КВП – круглое внутреннее с продольной подачей; КВВ – круглое внутреннее врезное; ППП – плоское с поперечной подачей периферией круга; ПВП – плоское врезное периферией шлифовального круга. Коды способов шлифования: п – предварительное; ч – чистовое; т – тонкое (отделочное).

7.1. Круглое наружное врезное шлифование

Исходные данные:

1) для детали:

- диаметр шлифуемой поверхности d , мм;
- допуск на диаметр шлифуемой поверхности $T(d)$, мм;
- показатель шероховатости шлифуемой поверхности Ra , мкм;
- длина шлифуемой поверхности B_0 , мм;
- твердость шлифуемой поверхности H_0 , (HRC);
- группа материала заготовки G_m ;
- материал заготовки;
- общий припуск P_0 , мм.

2) для станка и инструмента:

- модель станка

- максимальные габаритные размеры шлифуемых деталей (d_T и L_T), мм;
- диапазон скоростей продольной подачи ($s_{np.min}$ и $s_{np.max}$), мм/с;
- диапазон скоростей радиальной подачи ($s_{p.min}$ и $s_{p.max}$), мм/с;
- диапазон диаметров шлифовального круга ($D_{кр.max}$ и $D_{кр.min}$), мм
- фактический диаметр шлифовального круга $D_{кр.ф}$, мм;
- частота вращения шлифовального круга $n_{кр}$, 1/мин;
- ширина шлифовального круга $B_{кр}$, мм;
- код твердости шлифовального круга $H_{кр}$;
- жесткость технологической системы j , Н/мм;
- допустимая удельная радиальная сила $p_{y\delta}$, Н/мм

Порядок вычислений:

1. скорость шлифования v_k $v_k = p \cdot D_{кр.ф} \cdot n_{кр} / 60000$, м/с;
2. скорость детали v_δ $v_\delta = v_k \cdot (1,05 - 0,015 \cdot v_k + 0,0125 \cdot H_\delta)$, м/мин;
3. частота вращения детали $n_\delta = 1000 \cdot v_\delta / (p \cdot d)$, 1/мин;
4. скорость подачи правки s_a $s_a = 0,009 \cdot v_k \cdot Ra$, м/мин;
5. глубина при правке a_{np} $a_{np} = 0,025 \cdot \sqrt{Ra}$, мм;
6. табличный коэффициент режущей способности $K_{p,таб}$ мм³/(с Н); см таблицу 6.1;
7. коэффициент влияния скорости шлифования K_V
при $G_m = 1$ $K_V = 1 + (v_k - 35) / (22,5 + 0,75 \cdot v_k)$;
при $G_m = 2$ $K_V = \sqrt{2,575 - 0,045 \cdot v_k}$;
8. коэффициент влияния твердости шлифовального круга K_H
 $K_H = 1 - (H_k - 3) / (4 + 0,3 \cdot H_k)$; где

Твердость шл. круга	M3	CM1	CM2	C1	C2	CT1
Код твердости H_k	1	2	3	4	5	6

9. коэффициент влияния скорости подачи при правке K_{np}
 $K_{np} = s_a^2 / (0,028 + 0,75 \cdot s_a^2)$;
10. коэффициент влияния диаметра шлифуемой поверхности K_d
 $K_d = 0,825 + 0,0045 \cdot d$;
11. фактический коэффициент режущей способности K_p
 $K_p = K_{p.T} \cdot K_V \cdot K_H \cdot K_{np} \cdot K_d \cdot K_m$, мм³/(с Н); K_m из таблицы 7.2;

Таблица 7.2

Материал детали	G_m	K_m	Материал детали	G_m	K_m
Сталь 30...50	1	1,4	Сталь ШХ15	2	1
Сталь 45ХН	1	1,25	Сталь 38ХГСА	2	0,9
Сталь 30Х...45Х	1	1,3	Сталь 40ХНМА	2	0,85
Сталь 50Г	1	1,5	Сталь 18ХГТ	2	0,95
Сталь 33ХС...40ХС	1	1,1			

12. относительный коэффициент режущей способности k

$$k = K_p \cdot j / (p \cdot d \cdot B_o), 1/c;$$

13. припуски на предварительное (Π_1), чистовое (Π_2) и отделочное (Π_3) шлифование $\Pi_1 = (0,5 \dots 0,6) \Pi_0$; $\Pi_2 = (0,4 \dots 0,3) \Pi_0$; $\Pi_3 = (0,05 \dots 0,1) \Pi_0$;

14. максимально допустимая упругая деформация y_m

$$y_m = 0,04 + T(d) / (0,5 + 3 \cdot T(d)), \text{мм};$$

проверка правильности распределения припуска по этапам

$y_m < 0,6 \cdot (\Pi_2 + \Pi_3)$, если неравенство не соблюдается, то увеличивают припуски Π_2 и Π_3 за счет уменьшения Π_1 ;

15. скорость предварительной радиальной подачи s_1

$$s_1 = 60 \cdot k \cdot y_m, \text{мм/мин};$$

проверка подачи по допустимой удельной радиальной силе p_{y0}

$s_1 < 60 \cdot p_{y0} \cdot k \cdot B_o / j$; если неравенство не соблюдается, то уменьшают подачу s_1 ;

16. скорость врезной подачи s_{11} $s_{11} = 4 s_1$;

проверка выбора подачи s_{11} ; назначается доля припуска Π_{11} , которая удаляется во время врезания $K_{\Pi} = \Pi_{11} / \Pi_1$, затем вычисляется значение параметра Z $Z = k \cdot K_{\Pi} \cdot \Pi_1 / s_1$; по таблице 7.3 определяется соответствующее значение K_s $K_s = s_{11} / s_1$; если $K_s > 4$, то принимаем $s_{11} = 4 s_1$, если нет, то принимаем $s_{11} = K_s s_1$; затем проверяется соблюдение неравенства

$$s_{11} < s_{p \cdot \max};$$

Таблица 7.3

Z	K_s	Z	K_s	Z	K_s	Z	K_s
0,3862	2,00	0,2694	2,55	0,2073	3,10	0,1686	3,65
0,3715	2,05	0,2623	2,60	0,2030	3,15	0,1658	3,70
0,3579	2,10	0,2555	2,65	0,1990	3,20	0,1630	3,75
0,3452	2,15	0,2490	2,70	0,1951	3,25	0,1604	3,80
0,3334	2,20	0,2429	2,75	0,1913	3,30	0,1579	3,85
0,3225	2,25	0,2371	2,80	0,1877	3,35	0,1554	3,90
0,3122	2,30	0,2315	2,85	0,1842	3,40	0,1530	3,95
0,3026	2,35	0,2262	2,90	0,1808	3,45	0,1507	4,00
0,2935	2,40	0,2212	2,95	0,1776	3,50	0,1484	4,05
0,2850	2,45	0,2163	3,00	0,1745	3,55	0,1462	4,10
0,2770	2,50	0,2117	3,05	0,1715	3,60	0,1441	4,15

17. скорости чистовой и отделочной радиальных подач

$$s_2 = 0,4 s_1; \quad s_3 = 0,1 s_1; \text{ проверяем } s_3 > s_{p \cdot \min};$$

18. время на врезание t_{11} определяется из выражения

$$t_{11} = (-\ln(1 - s_1 / s_{11})) / k;$$

19. часть припуска Π_{11} , удаленная за время врезания определяется из выражения $\Pi_{11} = s_{11} \cdot (t_{11} - (1 - \exp(-k \cdot t_{11})) / k)$;

20. припуск Π_{10} , оставшийся после врезания для удаления на первом этапе будет $\Pi_{10} = \Pi_1 - \Pi_{11}$;

21. время, затраченное на удаление этой части припуска определяется из выражения $t_{10} = \Pi_{10} / s_1$;

22. время t_2 , затраченное на выполнение чистового этапа, определяется из уравнения $t_2 = (\Pi_2 - (s_1 - s_2) \cdot (1 - \exp(-k \cdot t_2)) / k) / s_2$; но это уравнение можно разрешить только численно методом итерации (повторения); начальное значение t_2 будет $t_{20} = (\Pi_2 - (s_1 - s_2) / k) / s_2$; и далее $t_{2i} = (\Pi_2 - (s_1 - s_2) \cdot (1 - \exp(-k \cdot t_{2(i-1)})) / k) / s_2$; итерации продолжаются, пока $abs(t_{2i} - t_{2(i-1)}) < 0,05$; abs – абсолютное значение;

23. к концу чистового этапа рабочего цикла линейная скорость v_{r2} удаления припуска будет $v_{r2} = s_1 \cdot \exp(-k \cdot t_2) + s_2(1 - \exp(-k \cdot t_2))$

24. время t_3 , затраченное на третий этап, можно определить по уравнению $t_3 = (\Pi_3 - (v_{r2} - s_3) \cdot (1 - \exp(-k \cdot t_3)) / k) / s_3$; определяется методом итерации аналогично пункту 22; начальное значение t_{30} определяется по выражению $t_{30} = (\Pi_3 - (v_{r2} - s_3) / k) / s_3$;

25. основное время $t_o \quad t_o = t_{11} + t_{10} + t_2 + t_3$.

Если ширина шлифуемой поверхности B_δ больше ширины шлифовального круга $B_{кр}$, но меньше $3B_{кр}$, то можно применить последовательно-врезное шлифование, схема которого показана на рис. 1.13.

Если $B_\delta > 3 B_{кр}$, то применяется круглое наружное шлифование с продольной подачей и поперечной подачей на каждый или двойной ход стола. Первый вариант применяется при шлифовании открытых поверхностей, а второй – полуоткрытых.

7.2. Круглое наружное продольное шлифование с радиальной подачей на каждый ход

Исходные данные

Те же, что и для круглого наружного врезного шлифования.

Порядок вычислений:

Шаги 1, 2 и 3 те же, что и для круглого наружного врезного шлифования.

Скорость подачи и глубину при правке (см. шаги 4 и 5) увеличить в 1,5 раза.

Табличный коэффициент режущей способности (см. шаг 6) уменьшить в 1,2 раза.

Шаги 7, 8, 9, 10, и 11 те же, что и для круглого наружного врезного шлифования.

12. Принимаем продольную подачу $s_{np.o}$, мм/об. заг. согласно модели

$$s_{np.o} = 0,7 \cdot B_{кр} \cdot (0,02 + T(d) / (0,045 + 0,5 \cdot T(d)));$$

Проверяем выбранную продольную подачу по станку

$$s_{np.min} < s_{np.o} \cdot n_{\partial} < s_{np.max} \cdot$$

Относительную упругую деформацию Y и параметры α и γ определяем по моделям

$$Y = s_{np.o} \cdot v_{\partial} / (j \cdot K_p); \quad a = Y / (1 + Y); \quad g = (1 + Y) / (1 + 2 \cdot Y).$$

Шаги 13, и 14 те же, что и для круглого наружного врезного шлифования.

15. предварительная радиальная подача s_1 мм/проход

$$s_1 = y_m / Y; \quad \text{проверка по } p_{y\partial} \quad s_1 < p_{y\partial} \cdot s_{np.o} / (j \cdot Y);$$

16. подача на врезание перед первым проходом s_{11} мм

$$s_{11} = s_1 \cdot (1 + Y); \quad \text{проверка } s_{11} < s_{p.max};$$

17. чистовая и отделочная радиальная подачи

$$s_2 = 0,4 s_1; \quad s_3 = 0,1 s_1; \quad \text{проверка } s_3 > s_{p.min};$$

18. число проходов i_1 предварительного этапа рабочего цикла

$$i_1 = \Pi_1 / s_1; \quad \text{полученное значение округляется до ближайшего целого } i_{1c};$$

19. фактически удаленная на первом этапе рабочего цикла часть припуска определяется согласно модели $\Pi_{1c} = s_1 \cdot i_{1c}$;

20. число проходов i_2 , затраченное на второй этап рабочего цикла, определяется последовательным перебором: сначала определяется начальное значение $i_{2н} = [\Pi_2 - Y \cdot (s_1 - s_2)] / s_2$; полученное значение округляется до ближайшего целого i_{2c} ; затем вычисляется припуск, снятый за это число проходов согласно модели $\Pi_{2c} = s_2 \cdot i_{2c} + Y \cdot (s_1 - s_2) \cdot (1 - a^{i_{2c}})$; если $\Pi_{2c} < \Pi_2$, то принимаем $i_{2c} := i_{2c} + 1$ и повторяем определение Π_{2c} до тех пор, пока не будет выполнено неравенство $\Pi_{2c} > \Pi_2$; выбирается то значение i_{2c} , которое обеспечивает минимальную разницу между Π_{2c} и Π_2 ;

21. часть припуска, которая удаляется на втором этапе рабочего цикла, определяется согласно модели $\Pi_{2c} = s_2 \cdot i_{2c} + Y \cdot (s_1 - s_2) \cdot (1 - a^{i_{2c}})$, где i_{2c} – окончательно выбранное значение числа проходов на втором этапе;

22. конечное значение глубины шлифования $a_{2к}$ для второго этапа рабочего цикла определяется согласно модели $a_{2о} = s_2 \cdot (1 - a^{i_{2c}}) + s_1 \cdot a^{i_{2c}}$;

23. часть припуска, оставшаяся на третий этап рабочего цикла определяется согласно модели $\Pi_{3о} = \Pi_o - \Pi_{1c} - \Pi_{2c}$;

24. число проходов i_3 , затраченное на третий этап рабочего цикла, определяется так же, как и для второго этапа, однако начальное значение i_3 определяется согласно модели $i_{3н} = [\Pi_{3о} - Y \cdot (s_2 - s_3)] / s_3$; полученное значение округляется до ближайшего целого i_{3c} ; а часть припуска, удаленная на третьем этапе, определяется согласно модели $\Pi_{3c} = s_3 \cdot i_{3c} + Y \cdot (a_{2о} - s_3) \cdot (1 - a^{i_{3c}})$

25. часть припуска, удаленная на третьем этапе рабочего цикла, определяется согласно модели $\Pi_{3c} = s_3 \cdot i_{3c} + Y \cdot (a_{2о} - s_3) \cdot (1 - a^{i_{3c}})$, где i_{3c} – окончательно выбранное число проходов третьего этапа;

26. погрешность шлифования определяется согласно модели

$\Delta\Pi = \Pi_{3o} - \Pi_{3c}$, должна быть меньше $T(d)$;

27. время на один проход $t_{1.np}$ $t_{1.np} = (B_{\delta} + B_{\kappa}) / (s_{np.o} \cdot n_{\delta})$;

28. основное время t_o $t_o = t_{1.np} \cdot (i_{1c} + i_{2c} + i_{3c})$.

7.3. Круглое наружное продольное шлифование с радиальной подачей на двойной ход.

Исходные данные

Те же, что и для круглого наружного врезного шлифования.

Порядок вычислений:

Шаги 1, 2 и 3 те же, что и для круглого наружного врезного шлифования.

Скорость подачи и глубину при правке (см. шаги 4 и 5) увеличить в 1,5 раза.

Табличный коэффициент режущей способности (см. шаг 6) уменьшить в 1,2 раза.

Шаги 7, 8, 9, 10, и 11 те же, что и для круглого наружного врезного шлифования.

12. Принимаем продольную подачу $s_{np.o}$, мм/об. заг. согласно модели

$$s_{np.o} = 0,5 \cdot B_{кр} \cdot (0,2 + T(d)) / (0,045 + 0,5 \cdot T(d));$$

Проверяем выбранную продольную подачу по станку

$$s_{np.min} < s_{np.o} \cdot n_{\delta} < s_{np.max} \cdot$$

Относительную упругую деформацию Y и параметры α и γ определяем по моделям

$$Y = s_{np.o} \cdot v_{\delta} / (j \cdot K_p); \quad a = Y / (1 + Y); \quad g = (1 + Y) / (1 + 2 \cdot Y).$$

Шаги 13, и 14 те же, что и для круглого наружного врезного шлифования.

15. предварительная радиальная подача s_1 мм/дв. ход

$$s_1 = y_m \cdot (1 + 2Y) / (Y \cdot (1 + Y)) = y_m / (Y \cdot g);$$

проверка по $p_{y\delta}$ $y_m < p_{y\delta} \cdot s_{np.o} / j$;

16. подача на врезание перед первым проходом s_{11} мм

$$s_{11} = y_m \cdot (1 + Y) / Y; \quad \text{проверка } s_{11} < s_{p.max}$$

17. чистовая и отделочная радиальная подачи

$$s_2 = 0,4 s_1; \quad s_3 = 0,1 s_1; \quad \text{проверка } s_3 > s_{p.min};$$

18. число двойных ходов i_1 предварительного этапа рабочего цикла

$$i_1 = \Pi_1 / s_1;$$

полученное значение округляется до ближайшего целого i_{1c} ;

19. фактически удаленная на первом этапе рабочего цикла часть припуска определяется согласно модели $\Pi_{1c} = s_1 \cdot i_{1c}$;

20. число двойных ходов i_2 на втором этапе рабочего цикла определяется так же, как для случая радиальной подачи на каждый проход, но начальное значение $i_{2н}$ определяем из модели

$$i_{2н} = [P_2 - Y \cdot (s_1 \cdot a - s_2) / (1 + a)] / s_2;$$

полученное значение i_2 округляется до ближайшего целого i_{2c} , а припуск P_{2c} определится по модели

$$P_{2c} = s_2 \cdot i_{2c} + Y \cdot \frac{(1 - a^{2i_{2c}})}{(1 + a)} \cdot (s_1 \cdot a - s_2);$$

21. удаленный на втором этапе припуск P_{2c} определится по модели

$$P_{2c} = s_2 \cdot i_{2c} + Y \cdot \frac{(1 - a^{2i_{2c}})}{(1 + a)} \cdot (s_1 \cdot a - s_2), \text{ где } i_{2c} \text{ окончательно принятое зна-}$$

чение числа двойных ходов на этом этапе рабочего цикла;

22. припуск, оставшийся на третий этап рабочего цикла P_{3o}

$$P_{3o} = P_o - P_{1c} - P_{2c};$$

23. глубина шлифования для обратного хода в конце второго этапа a_{2o}

$$a_{2o} = [s_1 \cdot a^{1+i_{2c}} + s_2 \cdot (1 - a^{i_{2c}})] / (1 + a);$$

24. число двойных ходов i_3 на третьем этапе рабочего цикла определяем так же, как для второго, но начальное значение $i_{3н}$ определяется по модели

$$i_{3н} = \{P_{3o} - Y \cdot [a_{2o} - s_3 / (1 + a)]\} / s_3; \text{ полученное значение } i_3 \text{ округляется до ближайшего целого } i_{3c}, \text{ а припуск } P_{3c} \text{ определяется согласно модели}$$

$$P_{3c} = s_3 \cdot i_{3c} + Y \cdot (1 - a^{2i_{3c}}) \cdot [a_{2o} - s_3 / (1 + a)];$$

25. удаленный на третьем этапе рабочего цикла припуск P_{3c} определяется по модели $P_{3c} = s_3 \cdot i_{3c} + Y \cdot (1 - a^{2i_{3c}}) \cdot [a_{2o} - s_3 / (1 + a)]$, где i_{3c} – окончательно выбранное значение числа двойных ходов третьего этапа;

26. погрешность шлифования определяется согласно модели

$$\Delta P = P_{3o} - P_{3c}, \text{ должна быть меньше } T(d);$$

27. время на один двойной ход $t_{1.нр}$ $t_{1.нр} = (2 \cdot B_o + B_k) / (s_{нр.o} \cdot n_o);$

28. основное время t_o $t_o = t_{1.нр} \cdot (i_{1c} + i_{2c} + i_{3c}).$

7.4. Внутреннее врезное шлифование

Смотри 7.1.

7.5. Внутреннее продольное шлифование с радиальной подачей на каждый ход

Смотри 7.2.

7.6. Внутреннее продольное шлифование с радиальной подачей на двойной ход

Смотри 7.3.

7.7. Плоское врезное шлифование с вертикальной подачей на каждый ход

Исходные данные:

1) для детали:

- длина шлифуемой поверхности L_d , мм;
- ширина шлифуемой поверхности B_d , мм;
- высота шлифуемой детали H_d , мм;
- допуск на выдерживаемый размер $T(H_d)$, мм;
- показатель шероховатости шлифуемой поверхности Ra , мкм;
- твердость шлифуемой поверхности HR_d , (HRC);
- группа материала заготовки Γ_m ;
- материал заготовки;
- общий припуск P_o , мм.

2) для станка и инструмента:

- модель станка
- максимальные габаритные размеры шлифуемых деталей (L_z , B_z и H_z), мм;
- диапазон скоростей стола (продольная подача) (V_{min} и V_{max}), м/мин;
- диапазон скоростей поперечной подачи ($s_{non\cdot min}$ и $s_{non\cdot max}$), мм/ход;
- диапазон скоростей вертикальной подачи ($s_{в\cdot min}$ и $s_{в\cdot max}$), мм/с;
- диапазон диаметров шлифовального круга ($D_{кр\cdot max}$ и $D_{кр\cdot min}$), мм
- фактический диаметр шлифовального круга $D_{кр\cdot ф}$, мм;
- частота вращения шлифовального круга $n_{кр}$, 1/мин;
- ширина шлифовального круга $B_{кр}$, мм;
- код твердости шлифовального круга $H_{кр}$;
- жесткость технологической системы j , Н/мм;
- допустимая удельная радиальная сила $p_{уд}$, Н/мм

Порядок вычислений:

1. скорость шлифования v_k $v_k = p \cdot D_{кр\cdot ф} \cdot n_{кр} / 60000$, м/с;

2. скорость подачи правки s_a $s_a = 0,009 \cdot v_k \cdot Ra$, м/мин;

3. глубина при правке a_{np} $a_{np} = 0,025 \cdot \sqrt{Ra}$, мм;

4. табличный коэффициент режущей способности $K_{p\cdot таб}$ мм³/(с Н); см таблицу 6.1;

5. коэффициент влияния скорости шлифования K_v

при $\Gamma_m = 1$ $K_v = 1 + (v_k - 35) / (22,5 + 0,75 \cdot v_k)$;

при $\Gamma_m = 2$ $K_v = \sqrt{2,575 - 0,045 \cdot v_k}$;

6. коэффициент влияния твердости шлифовального круга K_H

$K_H = 1 - (H_k - 3) / (4 + 0,3 \cdot H_k)$, где значение H_k (см. табл. Шаг 8 пункт 7.1);

7. коэффициент влияния скорости подачи при правке K_{np}

$K_{np} = s_a^2 / (0,027 + 0,75 \cdot s_a^2)$;

8. коэффициент влияния диаметра шлифовального круга K_d

$$K_d = 0,725 + 0,001 \cdot D_{кр.ф};$$

9. фактический коэффициент режущей способности K_p

$$K_p = K_{p.T} \cdot K_V \cdot K_H \cdot K_{np} \cdot K_d \cdot K_M, \text{ мм}^3/(\text{с Н}); \quad K_M \text{ из таблицы 7.2;}$$

10. Скорость стола V

$$V = v_{\kappa} \cdot (1 - 0,015 \cdot v_{\kappa} + 0,012 \cdot HR_{\delta});$$

полученное значение проверить по станку $V_{\min} < V < V_{\max}$;

11. относительная упругая деформация Y и параметр α

$$Y = B_{\delta} \cdot V / (j \cdot K_p); \quad a = Y / (1 + Y); \quad g = (1 + Y) / (1 + 2 \cdot Y).$$

12. припуски на предварительное (Π_1), чистовое (Π_2) и отделочное (Π_3) шлифование $\Pi_1 = (0,5 \dots 0,6) \Pi_0$; $\Pi_2 = (0,4 \dots 0,3) \Pi_0$; $\Pi_3 = (0,05 \dots 0,1) \Pi_0$;

13. максимально допустимая упругая деформация y_m

$$y_m = 0,02 + T(H_{\delta}) / (0,5 + 3 \cdot T(H_{\delta})), \text{ мм};$$

проверка правильности распределения припуска по этапам

$$y_m < 0,6 \cdot (\Pi_2 + \Pi_3), \text{ если неравенство не соблюдается, то увеличивают}$$

припуски Π_2 и Π_3 за счет уменьшения Π_1 ;

14. предварительная вертикальная подача s_1 мм/проход

$$s_1 = y_m / Y; \text{ проверка по } p_{y\delta} \quad s_1 < p_{y\delta} \cdot B_{\delta} / (j \cdot Y);$$

15. вертикальная подача на врезание перед первым проходом s_{11} мм

$$s_{11} = s_1 \cdot (1 + Y); \text{ проверка } s_{11} < s_{e.\max};$$

16. чистовая и отделочная вертикальная подачи

$$s_2 = 0,4 s_1; \quad s_3 = 0,1 s_1; \text{ проверка } s_3 > s_{e.\min};$$

17. число проходов i_1 предварительного этапа рабочего цикла

$$i_1 = \Pi_1 / s_1;$$

полученное значение округляется до ближайшего целого i_{1c} ;

18. фактически удаленная на первом этапе рабочего цикла часть припуска определяется согласно модели $\Pi_{1c} = s_1 \cdot i_{1c}$;

19. число проходов i_2 , затраченное на второй этап рабочего цикла, определяется методом последовательного поиска: начальное значение числа проходов $i_{2н}$ определяются по модели $i_{2н} = [\Pi_2 - Y \cdot (s_1 - s_2)] / s_2$; полученное значение округляется до ближайшего целого i_{2c} ; затем вычисляется припуск, снятый за это число проходов согласно модели $\Pi_{2c} = s_2 \cdot i_{2c} + Y \cdot (s_1 - s_2) \cdot (1 - a^{i_{2c}})$; если $\Pi_{2c} < \Pi_2$, то принимаем $i_{2c} := i_{2c} + 1$ и повторяем определение Π_{2c} до тех пор, пока не будет выполнено неравенство $\Pi_{2c} > \Pi_2$; выбирается то значение i_{2c} , которое обеспечивает минимальную разницу между Π_{2c} и Π_2 ;

20. часть припуска, которая удаляется на втором этапе рабочего цикла, определяется согласно модели $\Pi_{2c} = s_2 \cdot i_{2c} + Y \cdot (s_1 - s_2) \cdot (1 - a^{i_{2c}})$, где i_{2c} – окончательно выбранное значение числа проходов на втором этапе;

21. конечное значение глубины шлифования $a_{2к}$ для второго этапа рабочего цикла определяется согласно модели $a_{2о} = s_2 \cdot (1 - a^{i_{2c}}) + s_1 \cdot a^{i_{2c}}$;

22. часть припуска, оставшаяся на третий этап рабочего цикла определяется согласно модели $P_{3o} = P_o - P_{1c} - P_{2c}$;

23. число проходов i_3 , затраченное на третий этап рабочего цикла, определяется так же, как и для второго этапа, однако начальное значение i_3 определяется согласно модели $i_{3н} = [P_{3o} - Y \cdot (s_2 - s_3)] / s_3$; полученное значение округляется до ближайшего целого i_{3c} ; а часть припуска, удаленная на третьем этапе, определяется согласно модели $P_{3c} = s_3 \cdot i_{3c} + Y \cdot (a_{2o} - s_3) \cdot (1 - a^{i_{3c}})$

24. часть припуска, удаленная на третьем этапе рабочего цикла, определяется согласно модели $P_{3c} = s_3 \cdot i_{3c} + Y \cdot (a_{2o} - s_3) \cdot (1 - a^{i_{3c}})$, где i_{3c} – окончательно выбранное число проходов третьего этапа;

25. погрешность шлифования определяется согласно модели $\Delta P = P_{3o} - P_{3c}$, должна быть меньше $T(H_\delta)$;

26. время на один проход $t_{1.нр} \quad t_{1.нр} = (L_\delta + 4 \cdot V) / (1000 \cdot V)$;

27. основное время $t_o \quad t_o = t_{1.нр} \cdot (i_{1c} + i_{2c} + i_{3c})$.

7.8. Плоское врезное шлифование с вертикальной подачей на двойной ход.

Порядок вычислений:

Шаги 1...13 также как для врезного шлифования с подачей на каждый ход.

14. предварительная вертикальная подача s_1 мм/дв. ход

$s_1 = y_m / (Y \cdot g)$; проверка по $p_{y\delta} \quad y_m < p_{y\delta} \cdot B_\delta / j$;

15. подача на врезание перед первым проходом s_{11} мм

$s_{11} = y_m \cdot (1 + Y) / Y$; проверка $s_{11} < s_{g,max}$;

Шаги 16...18 также как для врезного шлифования с подачей на каждый ход.

19. число двойных ходов i_2 на втором этапе рабочего цикла определяется так же, как для случая вертикальной подачи на каждый проход, но начальное значение $i_{2н}$ определяем из модели

$i_{2н} = [P_2 - Y \cdot (s_1 \cdot a - s_2) / (1 + a)] / s_2$;

полученное значение i_2 округляется до ближайшего целого i_{2c} , а припуск P_{2c} определится по модели

$$P_{2c} = s_2 \cdot i_{2c} + Y \cdot \frac{(1 - a^{2i_{2c}})}{(1 + a)} \cdot (s_1 \cdot a - s_2);$$

20. удаленный на втором этапе припуск P_{2c} определится по модели

$$P_{2c} = s_2 \cdot i_{2c} + Y \cdot \frac{(1 - a^{2i_{2c}})}{(1 + a)} \cdot (s_1 \cdot a - s_2),$$
 где i_{2c} окончательно принятое значение числа двойных ходов на этом этапе рабочего цикла;

21. припуск, оставшийся на третий этап рабочего цикла P_{3o}

$P_{3o} = P_o - P_{1c} - P_{2c}$;

22. глубина шлифования для обратного хода в конце второго этапа a_{2o}

$$a_{2o} = [s_1 \cdot a^{1+i_{2c}} + s_2 \cdot (1 - a^{i_{2c}})] / (1 + a);$$

23. число двойных ходов i_3 на третьем этапе рабочего цикла определяем так же, как для второго, но начальное значение $i_{3н}$ определяется по модели $i_{3н} = \{ \Pi_{3o} - Y \cdot [a_{2o} - s_3 / (1 + a)] \} / s_3$; полученное значение i_3 округляется до ближайшего целого i_{3c} , а припуск Π_{3c} определяется согласно модели $\Pi_{3c} = s_3 \cdot i_{3c} + Y \cdot (1 - a^{2i_{3c}}) \cdot [a_{2o} - s_3 / (1 + a)]$;

24. удаленный на третьем этапе рабочего цикла припуск Π_{3c} определяется по модели $\Pi_{3c} = s_3 \cdot i_{3c} + Y \cdot (1 - a^{2i_{3c}}) \cdot [a_{2o} - s_3 / (1 + a)]$, где i_{3c} – окончательно выбранное значение числа двойных ходов третьего этапа;

25. погрешность шлифования определяется согласно модели

$$\Delta\Pi = \Pi_{3o} - \Pi_{3c}, \text{ должна быть меньше } T(d);$$

26. время на один двойной ход $t_{1,np} \quad t_{1,np} = (2 \cdot B_d + 4 \cdot V) / (1000 \cdot V)$;

27. основное время $t_o \quad t_o = t_{1,np} \cdot (i_{1c} + i_{2c} + i_{3c})$.

7.9. Плоское продольное шлифование с вертикальной подачей на каждый ход

Порядок вычислений:

Шаги 1...10 те же, что и для плоского врезного шлифования с вертикальной подачей на каждый ход.

11. относительная упругая деформация Y и параметры α и γ

$$s_{non} = B_{кр} \cdot (0,15 + 0,2 \cdot Ra);$$

$$Y = s_{non} \cdot V / (j \cdot K_p); \quad a = Y / (1 + Y); \quad g = (1 + Y) / (1 + 2 \cdot Y) .$$

шаги 12...16 те же, что и для плоского врезного шлифования с вертикальной подачей на каждый ход.

17. число циклов проходов i_1 предварительного этапа рабочего цикла

$$i_1 = \Pi_1 / s_1; \text{ число проходов в цикле } i_n \quad i_n = B_d / s_{non};$$

полученные значения округляется до ближайших целых i_{1c} и i_{nc} ;

шаги 18...26 те же, что и для плоского врезного шлифования с вертикальной подачей на каждый ход.

27. основное время $t_o \quad t_o = t_{1,np} \cdot (i_{1c} + i_{2c} + i_{3c}) \cdot i_{nc}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимов, В. Л. Внутреннее шлифование / В. Л. Акимов, В. А. Иванов. – Ленинград : Машиностроение, 1980. – 128 с.
2. Лоскутов, В. В. Шлифование металлов / В. В. Лоскутов. – Москва : Машиностроение, 1975. – 305 с.
3. Махаринский, Е. И. Технологические основы управления процессом шлифования / Е. И. Махаринский. – Москва : СНИО, 1990. – 52с.
4. Филимонов, Л. Н. Плоское шлифование / Л. Н. Филимонов. – Ленинград : Машиностроение, 1985. – 256 с.
5. Шлифование металлов : пособие шлифовщику / под ред. Л. М. Кожуро. – Минск : Дизайн ПРО, 2000. – 352с.
6. Эльянов, В. Д. Шлифование в автоматическом цикле / В. Д. Эльянов. – Москва : Машиностроение, 1980. – 101 с.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Поясните понятия «силового» и «глубинного» шлифования.
2. Перечислите известные Вам виды шлифования.
3. Для чего применяют круглое шлифование?
4. Как ориентируется заготовка при бесцентровом шлифовании?
5. Для чего применяют плоское шлифование?
6. Из каких материалов изготавливаются абразивные зерна?
7. На какие виды в зависимости от содержания примесей и технологии производства делится электрокорунд?
8. Для чего применяются шлифовальные круги с зернами из электрокорунда нормального и белого?
9. Для чего применяется шлифовальные круги с зернами из монокорунда?
10. Для чего применяются шлифовальные круги с зернами из карбида кремния черного и зеленого?
11. Для чего применяются шлифовальные круги из кубического нитрида бора (эльбор, кубонит)?
12. Для чего применяются шлифовальные круги из природных и искусственных алмазов?
13. Какие виды связки Вы знаете?
14. Охарактеризуйте керамическую связку, а также инструменты на ее основе.
15. Для чего применяются шлифовальные круги на бакелитовой связке?
16. Для чего в бакелитовую связку добавляют наполнители? Что применяется в качестве наполнителей?
17. Для чего применяются шлифовальные круги на вулканитовой связке?
18. Что является основой для большинства металлических связок?
19. Назовите характеристики строения шлифовальных кругов.
20. Что характеризует номер зернистости шлифовального круга?
21. Охарактеризуйте индексы марки шлифовального материала?
22. Что характеризует структура шлифовального круга?

23. На что влияет пористость шлифовального круга?
24. С чем связывается номер структуры шлифовального круга?
25. Что характеризует твердость шлифовального круга?
26. Как осуществляется контроль твердости абразивных инструментов с номером зернистости больше 16-ти?
27. Как осуществляется контроль твердости абразивных инструментов без его разрушения?
28. Какими рекомендациями нужно пользоваться при выборе степени твердости для конкретных условий шлифования?
29. Охарактеризуйте классы точности шлифовальных кругов.
30. Охарактеризуйте классы уравновешенности шлифовальных кругов.
31. Для чего применяют правку шлифовальных кругов?
32. В зависимости от чего выбирают метод и режим правки?
33. Перечислите известные Вам методы правки шлифовальных кругов?
34. Опишите метод правки шлифовальных кругов обтачиванием.
35. Какие типы алмазно-металлических карандашей для правки шлифовальных кругов вы знаете?
36. Как правят шлифовальные круги методом обкатывания.
37. Как правят шлифовальные круги методом шлифования.
38. Как правят шлифовальные круги методом накатывания.
39. От чего зависят показатели режима правки шлифовальных кругов?
40. Из каких подпроцессов состоит процесс шлифования?
41. Дайте определение понятию «режущая способность шлифовального круга»
42. Какие режимы работы круга в зависимости от сочетания твердости шлифовального круга и показателей режима шлифования и правки Вы знаете?
43. Опишите зависимость коэффициента режущей способности круга от времени работы с постоянной радиальной силой.
44. Как зависит параметр шероховатости R_a от времени работы круга после правки при ее разных продольных подачах?
45. С помощью какой модели можно отразить зависимость R_a от показателей условий шлифования?
46. Для чего применяют охлаждение различными смазочно-охлаждающими жидкостями?
47. Какие основные способы подачи СОЖ Вы знаете?
48. Как выбрать охлаждающую жидкость для шлифования?
49. Перечислите основные компоненты технологической системы круглошлифовального станка.
50. Изобразите схему круглого наружного врезного шлифования.
51. Изобразите схему круглого врезного шлифования с подшлифовкой торца.
52. Изобразите схему круглого врезного шлифования фасонной поверхности
53. Изобразите схему круглого шлифования с продольной подачей.
54. Как шлифуются конические поверхности на круглошлифовальном станке?
55. Как на круглошлифовальном станке установить заготовку небольшой высоты с точным отверстием?
56. Перечислите основные компоненты технологической системы внутришлифовального станка.
57. Изобразите схему внутреннего врезного шлифования.

58. Изобразите схему внутреннего врезного шлифования с подшлифовкой внутреннего торца..
59. Изобразите схему внутреннего продольного шлифования.
60. Изобразите схему внутреннего продольного шлифования с подшлифовкой наружного торца.
61. Как осуществляется привод шлифовального круга?
62. Какие основные приспособления применяемые на универсальных внутришлифовальных станках Вы знаете?
63. Изобразите схему шлифования сферического отверстия.
64. Изобразите схему планетарного шлифования отверстия в корпусной детали.
65. Для чего предназначены координатно-шлифовальные станки?
66. Перечислите основные показатели точности координатношлифовальных станков.
67. Какие статические показатели выявляют для проверки точности позиционирования или координатных перемещений?
68. Как совмещают ось шлифуемого отверстия с осью планетарного шпинделя при обработке на координатношлифовальных станках?
69. Перечислите основные компоненты технологической системы плоскошлифовального станка.
70. При помощи чего производится балансировка круга плоскошлифовального станка?
71. Перечислите автоматические и ручные перемещения, которые может осуществлять станок модели ЗЕ711В-1.
72. Изобразите схему плоского врезного шлифования.
73. Изобразите схему плоского шлифования с поперечной подачей.
74. Изобразите схему плоского фасонного шлифования.
75. Какие приспособления используются для закрепления заготовок на плоскошлифовальных станках?
76. Опишите принцип закрепления заготовок на электромагнитной плите.
77. Опишите достоинства и недостатки магнитной плиты по сравнению с электромагнитной.
78. Чем лекальные тиски отличаются от обычных тисков?
79. Для чего при обработке на плоскошлифовальных станках применяются синусные приспособления?
80. Как выбрать размер шлифовального круга?
81. В каких случаях применяются те или иные абразивные материалы?
82. Как выбрать зернистость шлифовального круга?
83. Как выбрать твердость шлифовального круга?
84. Как выбрать связку шлифовального круга?
85. Как выбрать структуру шлифовального круга?
86. Опишите схему изменения подачи в СТАЛП круглого врезного шлифования.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Характеристики шлифовальных станков

Таблица 1

Круглошлифовальные станки

Показатели	Модели станков					
	3М150	3М153	3М153А	3Т153Е	3У120А	3М151Ф2
$L_{г}$, мм	360	500	500	500	500	700
$d_{г}$, мм	100	140	140	140	200	200
d_{max} , мм	45	50	50	50	60	180
$D_{кр}$, мм	400	500	500	500	350	400
$H_{кр}$, мм	40	63	50	63	40	40
$n_{кр}$, об/мин	2350 1670	1900	1910 1340	1900	1910	2340 2000
$S_{пр}$, мм/мин	20–4000	20–5000	20–5000	20–5000	20–5000	30–5000
$n_{заг}$, об/мин	100–1000	50–1000	50–1000	63–700	50–1000	55–900
$S_{п}$, мм/мин	0,05–5	0,05–5	0,03–3	0,1–10	–	0,025–15
$S_{п.д}$, мкм/ход	1–100	2–150	1–150	–	1–150	0,5–150
j , Н/мм	2900	3650	3650	3950	4350	4350

Обозначения: $L_{г}$ – максимальная длина устанавливаемой заготовки; $d_{г}$ – максимальный диаметр устанавливаемой заготовки; d_{max} – максимальный диаметр шлифуемой поверхности; $D_{кр}$ – максимальный диаметр шлифовального круга; $H_{кр}$ – высота шлифовального круга; $n_{кр}$ – частота вращения шлифовального круга; $S_{пр}$ – скорость подачи при правке; $n_{заг}$ – частота вращения заготовки; $S_{п}$ – скорость радиальной (врезной) подачи; $S_{п.д}$ – дискретная радиальная подача; j – жесткость технологической системы.

Таблица 2

Внутришлифовальные станки

Показатели	Модели станков					
	3К225В	3К227В	3К228В	3М225Ф2	3М227Ф2	3К227Ф2
1	2	3	4	5	6	7
$d_{о.зг.}$, мм	3 – 25	20 – 100	50 – 300	1 – 80	20 – 200	20 – 100
$L_{шл.}$, мм	8 – 50	50 – 125	125 – 320	5 – 80	50 – 200	50 – 125
$D_{кр}$, мм	25	80	200	50	125	80
$n_{кр}$, об/мин	18000 24000 36000 48000 72000 92000	9000 12000 18000 22000	4500 5300 8200 12000	12000 – 150000	5000 – 28000	9000 12000 18000 22000
$S_{пр}$, м/мин	0,2 – 2	0,1 – 2	0,1 – 2	0,1 – 2	0,1 – 2	0,1 – 2
$S_{прод}$, м/мин	1 – 7	1 – 7	1 – 7	1 – 7	1 – 7	1 – 7
$S_{р11}$, мм/мин				1,2 – 12	1,2 – 12	1,2 – 12
$S_{р1}$,				0,3 – 3	0,3 – 3	0,3 – 3
$S_{р2}$,				0,1 – 0,6	0,1 – 0,6	0,1 – 0,6
$S_{р3}$, мкм/мин				6 – 60	6 – 60	6 – 60

Таблица 2 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7
$S_{р.д.}$, МКМ/Д.Х.	1 – 12	1 – 12	1 – 12	1,25 – 100	1,25 – 100	1,25 – 100
$n_{заг}$, об/мин	280 – 2000	140 – 1000	60 – 600	125 – 2000	60 – 1200	60 – 1200
j , Н/мм	1600	1800	2000	1600	1800	2000

Обозначения: $L_{шл}$ – длина шлифования; $d_{о.зг}$ – диаметр шлифуемой поверхности; $D_{кр}$ – максимальный диаметр шлифовального круга; $n_{кр}$ – частота вращения шлифовального круга; $S_{пр}$ – скорость подачи при правке; $n_{заг}$ – частота вращения заготовки; $S_{р}$ – скорость радиальной (врезной) подачи; $S_{р.д}$ – дискретная радиальная подача; j – жесткость технологической системы.

Таблица 3

Плоскошлифовальные станки

Показатели	Модели станков				
	3Е710А	3Е711В	3Е721АФ1	3П722	3П722Ф2
$L_c * B_c$, мм	400*125	630*200	630*200	1600*320	1250*320
H_{max} , мм	420	445	550	600	600
$D_{к.мах}$, мм	200	250	300	450	450
B_k , мм	32	40	63	80	80
n_k , об/мин	3350	2675	2200	1500	1450
$S_{прод}$, м/мин	2 – 35	2 – 35	2 – 35	3 – 45	3 – 35
$S_{поп}$, мм/ход	0,3 – 20	0,3 – 30	0,5 – 30	4 – 48	0,2 – 75
$S_{вер}$, МКМ	2 – 90	1 – 90	1 – 100	1 – 150	1 – 150
j , Н/мм	6000	9800	10000	13500	

$L_c * B_c$ – длина и ширина стола, H_{max} – максимальная высота заготовки, $D_{к.мах}$ – максимальный диаметр шлифовального круга, B_k – ширина шлифовального круга, n_k – частота вращения шлифовального круга, $S_{прод}$ – скорость продольной подачи, $S_{поп}$ – поперечная подача, $S_{вер}$ – вертикальная подача, j – жесткость технологической системы.