

БИБЛИОТЕЧКА ШЛИФОВЩИКА

**Б. С. К О Р Ш У Н О В**

# **АЛМАЗНОЕ ШЛИФОВАНИЕ**



**МАШИНОСТРОЕНИЕ**



ВЫПУСК 8

Б. С. КОРШУНОВ

# АЛМАЗНОЕ ШЛИФОВАНИЕ

Под редакцией канд. техн. наук Г. Ф. КУДАСОВА



ИЗДАТЕЛЬСТВО „МАШИНОСТРОЕНИЕ“

ЛЕНИНГРАД 1967

В данном выпуске освещен опыт алмазного шлифования и доводки деталей штампов, фильер и других изделий, изготовленных из сталей и твердых сплавов; приведены характеристики алмазного инструмента и режимы обработки; даны рекомендации по выбору шлифовального оборудования, оптимальных технологических показателей шлифования и доводки, описаны схемы и прогрессивные процессы обработки деталей.

Брошюра рассчитана на рабочих-шлифовщиков и мастеров, а также может быть полезна технологам-машиностроителям и инструментальщикам.

Рецензент канд. техн. наук *А. Г. Пер*

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие техники в последние десятилетия обусловило применение высокопроизводительных и экономически выгодных процессов окончательной обработки деталей, а именно шлифования, заточки, доводки и полирования.

Увеличение добычи естественных алмазов, а также решение проблемы их синтеза создали предпосылки для широкого применения алмазного инструмента во всех областях промышленности.

Использование в качестве абразивного материала естественных и особенно искусственных алмазов позволяет создать разнообразные инструменты. Повышенная работоспособность и износостойкость таких инструментов по сравнению с электрокорундом и карбидом кремния объясняется более высокими физико-механическими свойствами алмазов: алмазные зерна имеют меньшие радиусы скругления вершин и примерно в три раза более высокую микротвердость, в 4—5 раз больший предел прочности при изгибе и в 9—10 раз (по сравнению с карбидом кремния зеленым) более высокий коэффициент теплопроводности, значительно больший модуль упругости и т. д.

Применение алмазных кругов, брусков и притиров, а также порошков и паст следующим образом сказывается на качестве обработанных изделий и процессах обработки:

1) значительно повышается стойкость изделий (по сравнению с изделиями, обработанными кругами из электрокорунда или карбида кремния): однолезвийного инструмента в 1,5—2,0 раза, многолезвийного в 2—3 раза, деталей штампов и фильер в 10 раз и более;

2) улучшается чистота обработанной поверхности: при шлифовании до 7—11-го класса, при доводке кругами до 9—13-го класса, а при доводке свободным зерном до 10—14-го класса;

3) значительно сокращается трудоемкость выполняемых операций и себестоимость выпускаемой продукции: при шлифовании до двух, а при доводке до 10 раз;

4) улучшается культура производства, требующая применения новых конструкций станков, приспособлений и т. д.

В брошюре найдут полезные сведения по алмазному шлифованию и доводке как рабочие-шлифовщики и учащиеся профтехобразования, так мастера и технологи машиностроительных заводов.

## Глава I

# АЛМАЗЫ И ОБЛАСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

### 1. ХАРАКТЕРИСТИКА И СВОЙСТВА АЛМАЗОВ

Для изготовления кругов, брусков, притиров и других абразивных инструментов используют алмазные зерна как естественного, так и искусственного происхождения размером от 50 до 200 *мкм*. Более крупные зерна естественного происхождения (до 630 *мкм* и выше) применяются для изготовления резцов, наконечников и т. д., а более мелкие (до 1 *мкм* и мельче) — для паст, надфилей и т. д. Применение алмазов в технике определяется их физико-механическими свойствами.

Характеристики и области применения различных абразивных материалов даны в табл. 1, из которой видно, что как естественный, так и искусственный алмазы по своим свойствам превосходят свойства всех других абразивов. Важным свойством алмазов является их твердость (микротвердость), определяемая прибором ПМТ-3. Алмазы являются самым твердым абразивным материалом. По твердости они в 2,5—3 раза превосходят карбид кремния и карбид бора и в шесть раз — сплав типа ВК (вольфрамокобальтовые твердые сплавы).

Модуль упругости алмазов значительно больше модуля упругости любых других абразивных материалов. Так, например, карбид бора имеет модуль упругости 29 600 *кГ/мм<sup>2</sup>*, а алмаз — 90 000 *кГ/мм<sup>2</sup>*. Алмазы имеют более высокую шлифующую способность, чем другие абразивы.

Алмазы в виде кристаллов размером свыше 800—1000 *мкм* применяются для правки, расточки и т. д.

Алмазный порошок, представляющий собой смесь зерен неправильной формы и различного размера, является основой любого абразивного инструмента. Размер зерен классифицирован по ГОСТу 9206—59 (см. гл. II.) В то же время форма зерен, являющаяся важной характеристикой их износостойкости, в настоящее время не классифицирована.

Таблица 1

## Характеристики и применение различных абразивных материалов

Наименование абразивного материала	Условное обозначение	Краткая характеристика абразивного материала	Основной составляющий элемент	Твердость		Микротвердость, $\text{кг/мм}^2$	Шлифующая способность	Температура, при которой теряется свойство абразива, °С	Состояние и область применения
				по Моосу	по Роквеллу				
Алмаз естественный	А	Лучший сорт «Карбонад» черного цвета	С	10	15	10 060	1,0	600—700	Порошки — в кругах и брусках для обработки твердых сплавов и сталей Микророшки для доводки и полирования
Электрокорунд нормальный	Э	Кристаллическая окись алюминия бурого-красного или коричневого цвета	92—95% $\text{Al}_2\text{O}_3$	9	12	2000—2200	0,1—0,12	—	Зерна — в кругах Микророшки для обработки сталей
Электрокорунд белый	ЭБ	Кристаллическая окись алюминия белого или светлого розового цвета	98—99% $\text{Al}_2\text{O}_3$	9	12	2300—2400	0,14—0,16	—	

Продолжение табл. 1

Наименование абразивного материала	Условное обозначение	Краткая характеристика абразивного материала	Основная составляющая элемент	Твердость		Микротвердость, $\text{кг/мм}^2$	Шлифовальная способность	Температура, при которой теряется свойство абразива, $^{\circ}\text{C}$	Состояние и область применения
Карбид кремния зеленый	КЗ	Кристаллы зеленого цвета	97—98% $\text{SiC}$	по Моосу	по Роквеллу	2900—3500	0,45—0,50	1000—1200	Зерна — в кру- гах для шлифо- вания и заточки Шлифпорошки для доводки твер- дых сплавов
				—	13		0,25—0,40		
Карбид кремния черный	КЧ	Кристаллы черного цвета	95—98% $\text{SiC}$	—	13	3350—4300	0,5	—	Порошки — для доводки твер- дых сплавов
Карбид бора	—		85—94% $\text{B}_4\text{C}$	—	14				
Титанистый ко- рунд	ТК	Кристаллическая окись алюминия с присадками титана светло-розового цвета	Не ме- нее 97% $\text{Al}_2\text{O}_3$	—	13	2300—2400	0,2—0,25	—	Порошки — для доводки ста- лей



Наименование абразивного материала	Условные обозначения	Краткая характеристика абразивного материала	Основной состав	Твердость по Моосу	Твердость по Роквеллу	Микротвердость, $\text{кг/мм}^2$	Шлифовальная способность	Температура при которой теряется свойство абразива, °С	Состояние и область применения
Алмаз искусственный	АС	Серые и бесцветные кристаллы	С	10 15	10 15	10 100	0,9	600	Брус, при- тиры, круги и порошки — для обработки твер- дых сплавов
Эльбор (кубический нитрид бора)	—	Кристаллы преимущественно темного коричневого цвета		10 15	10 15	8500—8600	1,0	1500—1600	Круги и порош- ки — для обра- ботки закален- ных и трудно- обрабатываемых сталей и твердых сплавов

Наиболее целесообразно разделять зерна по форме на три группы:

1) равноосные или изометричные зерна (октаэдры, ромбододекаэдры), у которых размеры в среднем одинаковы во всех направлениях;

2) плоские или пластинчатые зерна, у которых размеры в двух направлениях резко преобладают над размером в третьем направлении;

3) игольчатые или мечевидные зерна, у которых размер в одном направлении резко преобладает над размерами во всех других направлениях.

При изготовлении инструмента на различных связках применяются алмазные зерна различной формы: для бакелитовой связки — игольчатые и пластинчатые; для металлической — изометричные и т. д. Чтобы придать алмазным зернам большую однородность по прочности, их разделяют на три группы: изометричные, пластинчатые и промежуточные.

Синтетические алмазы в настоящее время условно классифицированы так:

- 1) синтетический алмаз обычной прочности (АСО);
- 2) синтетический алмаз повышенной прочности (АСП);
- 3) синтетический алмаз высокой прочности (АСВ).

Если за единицу прочности принята прочность натурального кристалла алмаза, то АСО имеет лишь 30% указанной прочности, АСП — 60%, а АСВ — 85—90%.

С целью повышения работоспособности алмазных зерен применяют ряд дополнительных операций, облагораживающих их, а именно: термическую и химическую обработку, овализацию и т. д. Степень влияния термообработки зерен на изменение удельного схода твердого сплава кругами из естественных и синтетических алмазов показана на рис. 1. Применение овализации позволяет улучшить форму алмазных зерен, что дает возможность использовать

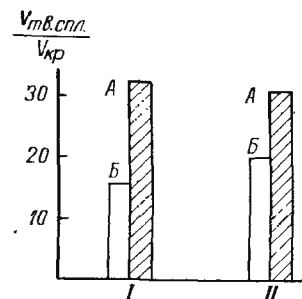


Рис. 1. Степень влияния термообработки алмазных зерен на изменение удельного объема схода твердого сплава  $\frac{V_{тв.спл.}}{V_{кр}}$  кругами из естественных (I) и синтетических (II) алмазов: А — термообработанные зерна, Б — зерна без термообработки

такие зерна при более грубых работах и с ударными нагрузками.

Алмазный порошок (паста) в свободном состоянии может быть использован для доводки и полирования изделий из сталей и твердых сплавов, а в связанном состоянии (в виде различных кругов, притиров, надфилей, брусков и т. п.) — при шлифовании и доводке.

Износостойкость алмазных кругов с зернами различной формы и прочности приведена в табл. 2.

Таблица 2

**Износостойкость алмазных кругов с зернами различной формы и прочности**

Форма зерен	Прочность на удар (в условных единицах)	Износостойкость круга	
		Удельный съём твердого сплава в г	Удельный износ алмаза в мг/г
Изометричная	12	84	0,70
Пластиначатая . . . . .	9	68	0,87

Кроме формы, большое значение имеют величины радиусов скругления вершин зерен, степень их шероховатости и т. д. Эти факторы влияют на стойкость и характер износа алмазных зерен, а также на их удержание в связке. Значение радиусов скругления и углов при вершине у алмазных зерен значительно меньше, чем у абразивных (табл. 3).

Таблица 3

**Среднее значение радиусов скругления и углов при вершине**

Абразивный материал	Зернистость	Радиус скругления в мкм	Угол при вершине в град
Алмазы природные	A16	3,3	84,0
	A12	2,8	78,0
	A8	2,3	73,0
Алмазы синтетические	AC12	2,2	57,0
	AC8	1,1	52,0
Электрокорунд	ЭБ25	19,0	108,5
	ЭБ16	13,0	106,0
	ЭБ8	8,5	98,0

## 2. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АЛМАЗОВ И АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА

В настоящее время алмазы и алмазный инструмент применяются в различных отраслях промышленности, что обусловлено их высокой эффективностью. Приведенный в табл. 4 неполный перечень видов обработки алмазами охватывает основные, наиболее важные отрасли промышленности.

Таблица 4

**Применение алмазных инструментов, порошков, паст при различных видах обработки**

Вид обработки	Применение			
	инструментов из кристаллов алмаза с рабочей поверхностью		кругов, брусков и т. п.	порош- ков и паст
	непрофи- лирован- ной	профили- рованной		
Чистовое шлифование и доводка твердых сплавов	—	—	+	+
Бурение твердых горных пород	+	—	—	—
Волочение тончайшей проволоки	—	+	—	—
Правка шлифовальных кругов	+	+	+	—
Измерение твердости и шероховатости поверхности	—	+	—	—
Резка листового и обработка оптического и художественного стекла	+	+	+	—
Обработка часовых и технических камней	—	+	+	+

Продолжение табл. 4

Вид обработки	Применение			
	инструментов из кристаллов алмаза с рабочей поверхностью		кругов, брусков и т. п.	порош- ков и паст
	непрофи- лирован- ной	профили- рованной		
Обработка алмазных ин- струментов из кристаллов с профилированной рабо- чей поверхностью	+	—	+	+
Обработка резанием цветных металлов, их спла- вов и пластмасс	—	+	+	—
Резка облицовочно-строи- тельных материалов	—	—	+	—
Обработка полупровод- никовых материалов	—	—	+	—
Обработка керамических материалов	+	—	+	—
Огранка бриллиантов и полудрагоценных камней	+	—	+	+
Контактные приборы ак- тивного контроля	+	+	—	—
Зубопротезирование	—	—	+	—

Представление о широте применения естественных алмазов в различных областях дает схема 1 классификации алмазного сырья.

По этой схеме технические алмазы можно разделить на три основные группы:

1) абразивные алмазы — кристаллы, пригодные только для измельчения в порошки и использования в технике в закрепленном (круги, диски и т. д.) и незакрепленном (пасты порошки) виде;

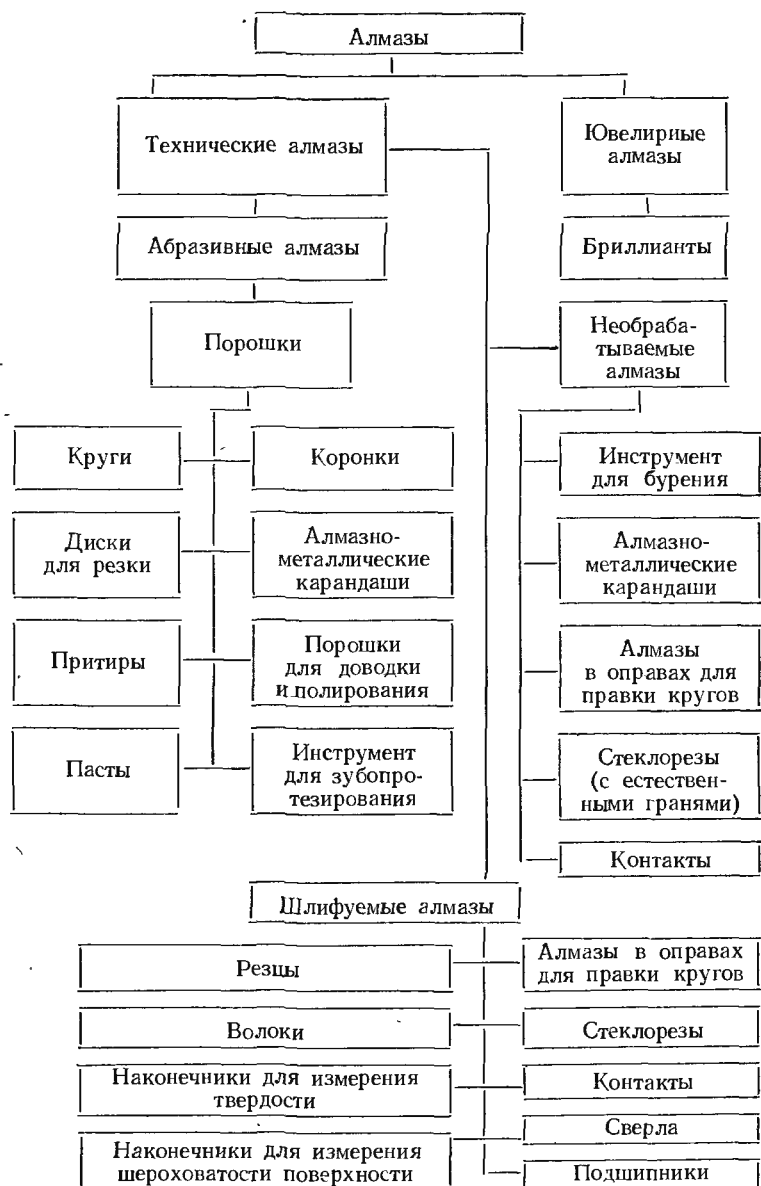


Схема 1. Классификация естественных алмазов

2) шлифуемые алмазы — кристаллы, используемые в алмазных изделиях (волоках, стеклорезах и т. д.) и подвергаемые шлифованию, доводке и полированию для придания им нужного качества, формы и размеров;

3) необработанные алмазы — кристаллы, используемые в технике в естественном виде (инструмент для бурения, алмазно-металлические карандаши и т. д.).

В настоящее время промышленность стала широко применять алмазный инструмент при обработке деталей и инструментов, изготовленных из различных сталей. Наиболее передовые страны (СССР, США и др.) расходуют технические алмазы следующим образом: 65—70% на шли-

Таблица 5

## Стойкость штампов

Наименование штампов	Стойкость штампов между переточками в тыс. изделий		Увеличение стойкости твердосплавных штампов по сравнению со стальными (раз)
	со стальными деталями	с твердосплавными деталями	
Совмещенный штамп для вырубки пластины статора из материала ЭУ144, толщиной 0,2—0,3 мм	7—12	405	60—35
Штамп для вырубки пластин пьезоэлемента из бронзы толщиной 0,1 мм	15—20	1220	80—60
Штамп для вырубки магнитопроводов из материала ЭУ144, толщиной 0,2 мм	2—4	240—265	120—65
Штамп для вытяжки	25	2500	100
Компаундный штамп для вырубки листа статора диаметром 423 мм (завод им. Владимира Ильича)	15	500	30—35
Штамп для вырубки коллекторной меди (завод АТЭ-1)	30	1300	40—45

фование деталей, заточку и доводку инструмента, штампов, фильер и т. д.; 12% на изготовление специальных абразивов для распиливания и шлифования изделий из стекла и керамики, а также для обработки подшипников часов и т. д.; 10—15% на правку шлифовальных кругов; 8—10% для бурения горных пород и только незначительное количество на другие цели.

В данной брошюре рассматривается одна из наиболее важных областей применения алмазов в технике — обработка твердых сплавов и сталей на финишных операциях, в частности при шлифовании и доводке штампов, фильер и прессформ.

Под алмазным шлифованием следует понимать процесс механической обработки металлов с помощью кругов для получения шероховатости поверхности от 8 до 10-го класса. Предварительной алмазной доводкой является процесс механической обработки металлов с помощью кругов для получения шероховатости поверхности от 9 до 11-го класса. При окончательной доводке шероховатость поверхности получают по 12—13-му классу. Более высокий класс чистоты имеют при доводке с помощью паст и свободного алмазного порошка.

Внедрение алмазного шлифования позволяет перейти на изготовление штампов из твердых сплавов, стойкость которых намного выше по сравнению со стальными штампами (табл. 5).

Алмазная обработка составляет наибольший процент от общей трудоемкости изготовления деталей машин. Например, трудоемкость изготовления секторной матрицы по операциям распределяется следующим образом: слесарная обработка заготовок — 15%, профильное алмазное шлифование после спекания заготовки — 75%, доводка — 6%, сборка — 4%.

## Глава II

# АЛМАЗНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ШЛИФОВАНИЯ И ДОВОДКИ

В связи с промышленным выпуском синтетических алмазов созданы возможности для широкого внедрения в народное хозяйство различных инструментов из этих алмазов (кругов, брусков, притиров), что позволяет увеличить применение режущего и измерительного инструмента штампов и волок, изготавливаемых из твердых сплавов и сталей.

### 3. АЛМАЗНЫЕ КРУГИ И ИХ НАЗНАЧЕНИЕ

Алмазные круги (рис. 2) предназначены для шлифования, заточки и доводки изделий из твердых сплавов и сталей. Они имеют корпус 1 и алмазоносный слой 2. Корпус изготавливается из дюралюминия или пластмассы. Алмазоносный слой состоит из алмазного порошка, связки и наполнителя.

**Форма и размеры круга.** Форма и типоразмеры кругов определяются ГОСТом 9770—61 (табл. 6) и нормалью НИИалмаза: ОН 037-006—62 и ОН 037-031—62 и др.

Круги из синтетических алмазов используются на операциях шлифования, заточки и доводки режущих инструментов с пластинами из металло- и минералокерамических сплавов, а также для обработки некоторых термообработанных сталей и полупроводников. Не рекомендуется применять алмазные круги при шлифовании изделий из закаленных сталей и цветных металлов; а также деталей, имеющих значительный слой припоя, так как при обработке этих материалов круги дают повышенный износ.

Технические требования к кругам на металлической связке определены нормалью ОН 037-018—62, к кругам на органической связке — нормалью ОН 037-031—62.

В том случае, если предприятию требуются круги специальной формы (табл. 7), не вошедшие в ГОСТ, то они



выпускаются заводами-изготовителями по специальному согласованному заказу. Для этого необходимо разработать чертежи и изготовить прессформы и только тогда обратиться к заводу за изготовлением необходимого круга.

Характерные примеры выбора формы кругов приведены в табл. 8.

**Выбор алмазных кругов.** Основные характеристики, по которым выбираются алмазные круги, следующие: зернистость, связка и концентрация алмаза.

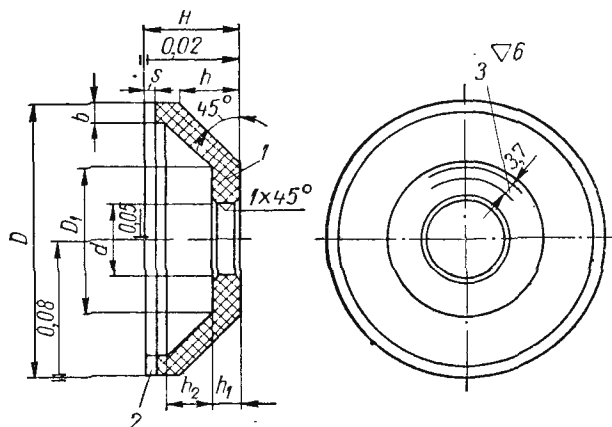


Рис. 2. Алмазный круг чашечной формы типа АЧК:

1 — корпус; 2 — алмазоносный слой; 3 — место маркировки;  $D$  — наружный диаметр круга;  $D_1$  — диаметр основания;  $H$  — высота круга;  $d$  — диаметр отверстия;  $h_1$  — высота основания;  $s$  — толщина алмазоносного слоя;  $b$  — ширина алмазоносного слоя;  $h$  — толщина основания круга;  $h_2$  — высота чашечки

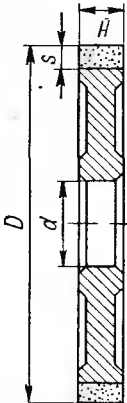
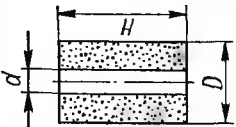
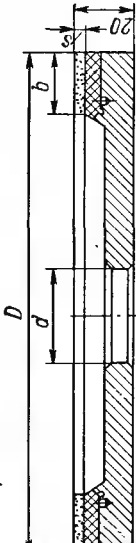
**Зернистость.** В табл. 9 дано обозначение зернистости естественных алмазных порошков и указан соответствующий ей размер зерен основной фракции (ГОСТ 9206—59).

Зернистость кругов из синтетических алмазов подбирают в зависимости от припуска на обработку и характера выполняемых операций (точности и шероховатости обработки), руководствуясь при этом следующими условиями:

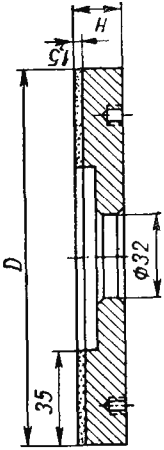
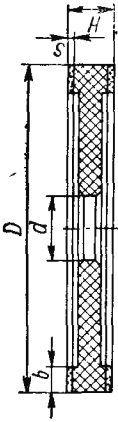
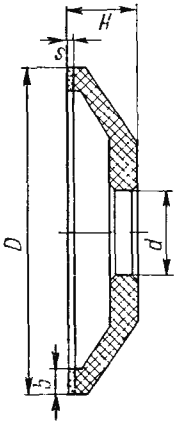
- 1) предварительное шлифование производится кругами АС16—АС12;
- 2) на окончательном шлифовании используют круги АС10—АС6;

Таблица 6

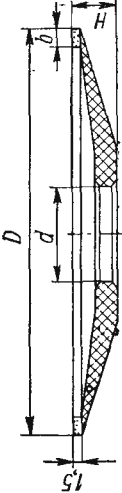
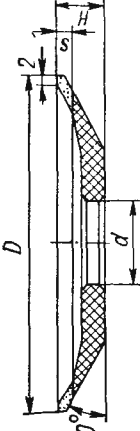
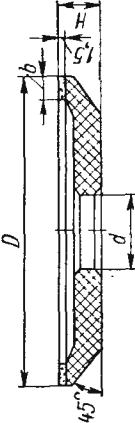
## Формы и типоразмеры кругов по ГОСТу 9770—61

Эскиз сечения	Наименование круга	Обозначение	Диаметр круга, мм	Связка
	Плоский прямого профиля	АПП	12—320	М О
	Плоский прямого профиля без корпуса	АПП	16—10 6—20	М О
	Плоский с выточкой	АПВ	100—250	М О

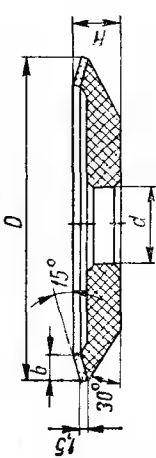
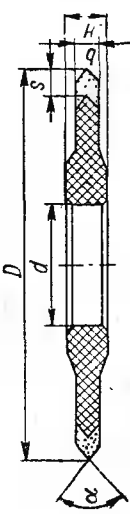
Продолжение табл. 6

Эскиз сечения	Наименование круга	Обозначение	Диаметр круга, мм	Связка
	Плоский с выточкой	АПВ	140	М
	Плоский двусторонний с выточкой	АПВД	100—250	МО
	Чашечные конические	АЧК	50—200	МО

Продолжение табл. 6

Эскиз сечений	Наименование круга	Обозначение	Диаметр круга, мм	Связка
	Тарельчатые	AT	75—125	M O
		A1T	75—125 50—125	M O
		A2T	75—125	M O

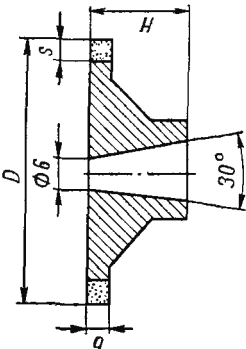
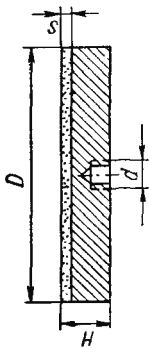
Продолжение табл. 6

Эскиз сечения	Наименование круга	Обозначение	Диаметр круга, мм	Связка
	Тарельчатые	A3Т	75—125	М О
	Профильные	A2П	50—125	М О

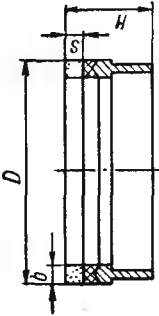
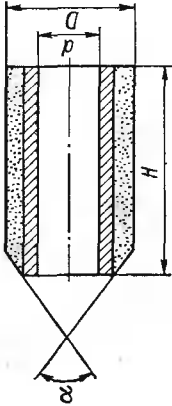
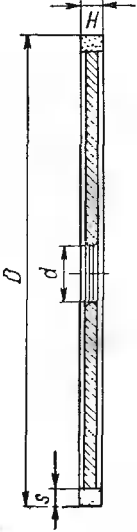
Условные обозначения: 1) основных размеров круга:  $D$  — диаметр круга;  $H$  — высота круга;  $d$  — диаметр отверстия;  $s$  — толщина алмазного слоя;  $b$  — ширина алмазного слоя;  $\alpha$  — угол конуса алмазного слоя; 2) связки: М — металлическая; О — органическая.

Таблица 7

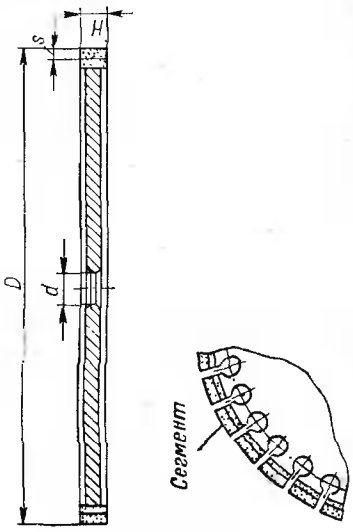
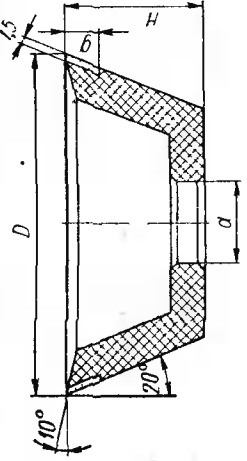
## Специальные алмазные круги

Эскиз формы круга (сечение)	Обозначение	Назначение или наименование круга	Вид связи
	—	Для обработки корундовых игл	О
	АП	Для заточки резцов в часовой промышленности	М О

Продолжение табл. 7


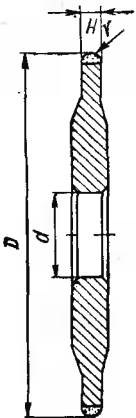
Эскиз формы круга (сечение)	Обозначение	Назначение или наименование круга	Вид связи
	АЧК	Специальные круги	О
	I	Для обработки высадочных матриц	М
	АОК	Для отрезки	

Продолжение табл. 7

Эскиз формы круга (сечение)	Обозначение	Назначение или наименование круга	Вид связи
	АОК (сегментные)	Для отрезки	М
	АЧК	Чашечные конические	О М



Продолжение табл. 7

Эскиз формы круга (сечение)	Обозначение	Назначение или наименование круга	Вид связи
	А4Т	Тарельчатые	О М
	А5П	Профильные	О М

Условные обозначения основных размеров круга:  $D$  — диаметр круга;  $H$  — высота круга;  $d$  — диаметр отверстия;  $s$  — толщина алмазного слоя;  $b$  — ширина алмазного слоя;  $r$  — радиус закругления алмазного слоя.

Таблица 8

## Примеры выбора кругов

Обозначение	Назначение круга	Применение	Тип станка
АПП	Обработка тел вращения	Шлифование и доводка цилиндрических поверхностей	Круглошлифовальный
	Обработка плоских поверхностей	Шлифование и доводка деталей, штампов, инструментов и др.	Плоскошлифовальный
	Обработка инструментов	Обработка стружколомательных порожков в резцах	Заточный
АППП	Внутреннее шлифование	Шлифование и доводка отверстий	Внутришлифовальный
Головка АГЦ		Обработка поверхностей фасонного профиля	Координатно-шлифовальный
АПВ	Обработка неметаллических материалов	Шлифование естественных и искусственных камней	Специальный шлифовальный
АПВД	Обработка различных деталей	Обработка деталей микрометра и мерительных скоб	Профилишлифовальный
АЧК	Обработка плоских поверхностей	Шлифование и доводка деталей штампов	
АГТ	Шлифование деталей штампов		Универсально-заточный

Продолжение табл. 8

Обозначение	Назначение круга	Применение	Тип станка
A2П	Плоское шлифование	Заточка фасонных резцов, обработка деталей штампов	Профилешлифовальный
A5П		Шлифование стружколомательных канавок на резцах	Заточный, плоскошлифовальный

Таблица 9

## Зернистость естественных алмазных порошков

Зернистость	Размер зерен основной фракции в мкм	Зернистость	Размер зерен основной фракции в мкм
A50	630—500	A5	50—40
A40	500—400	AM40	40—28
A32	400—315	AM28	28—20
A25	315—250	AM20	20—12
A20	250—200	AM14	14—10
A16	200—160	AM10	10—7
A12	160—125	AM7	7—5
A10	125—100	AM5	5—3
A8	100—80	AM3	3—1
A6	80—63	AM1	1—0
A5	63—50		
<p>Примечание. Обозначения зернистости относятся к порошкам из естественных алмазов. В обозначения зернистости порошков из синтетических алмазов добавляется буква «С» (синтетические), например: AC16, ACM40 и т. д.</p>			

3) доводка производится кругами АС5—АСМ28;

4) на окончательной доводке и при полировании используются круги АСМ28—АСМ10.

С в я з к а. В настоящее время наиболее распространенными связками алмазных кругов являются две:

1) металлическая связка, используемая на операциях шлифования при снятии наибольших припусков (до 0,5 мм);

2) органическая связка, используемая на операциях чистового шлифования и доводки, а также на операциях тонкого шлифования при снятии небольших припусков (до 0,1 мм).

Отечественная промышленность выпускает круги на различных металлических и органических связках. Известны металлические связки: М1, МИ, МК, М5 и др., органические: Б1, Б2, Б3 и ТО2.

Основной связкой является связка М1 (80% меди и 20% олова). Круги на этой связке выпускаются большинством заводов. Разновидностями данной связки являются связки МИ (завода «Ильич») и МК (Томилинского завода).

Связка М5 — литая; при ее изготовлении используется ультразвук. Связка М9 изготавливается с добавкой 3% серебра. Эти связки употребляются в кругах, предназначенных для черновых заточных и шлифовальных работ.

В связке Б1 наполнителем является карбид бора, а в связке Б2 — железо. Эти связки выпускаются рядом заводов. Связка ТО2 изготавливается на Томилинском заводе. Большое будущее принадлежит керамической связке.

В некоторых случаях для закрепления алмазов на корпусе (в фасонных кругах и кругах малых диаметров для шлифования отверстий диаметром менее 3 мм) применяют гальванический метод, который в настоящее время успешно осваивается и совершенствуется промышленностью (круги с гальваническим покрытием обозначаются буквой Г).

При маркировке чашечных алмазных кругов учитывают их диаметр и толщину, например, если диаметр круга  $D = 75$  мм, а толщина  $b = 5$  мм, то на круге будет стоять марка АЧК 75 × 5.

К о н ц е н т р а ц и я. Количество алмазного порошка, содержащееся в 1 мм<sup>3</sup> алмазоносного слоя, называется концентрацией круга. Так, за 100-процентную

Таблица 10

## Выбор кругов для различных операций шлифования и доводки

Вид шлифования	Операция	Обрабатываемый материал	Связка	Зернистость	Концентрация в %
Плоское (торцом круга)	Шлифование	Твердый сплав	М, К, Г МД, Б	16—10	100
	Доводка			6—М40	100—50
	Шлифование	Закаленная сталь	К, Б Б	12—8	100
	Доводка			6—4	150
Плоское (периферией круга)	Шлифование	Твердый сплав	М, К К, Б	16—8	100
	Доводка			6—М40	100—50
	Шлифование	Закаленная сталь	К, Б Б	12—8	100—
	Доводка			6—М40	150
Круглое наружное	Шлифование	Твердый сплав	М, К К, Б	16—8	100
	Доводка			6—М40	100—50
	Шлифование	Закаленная сталь	К, Б Б	12—8	100—
	Доводка			6—М40	150
Круглое внутреннее	Шлифование	Твердый сплав	М, К, Г М, Д, К, Б	12—8	100
	Доводка			6—М28	100—50
	Шлифование	Закаленная сталь	К, Г Б	12—8	100—
	Доводка			6—4	150

Условные обозначения связки: М — металлическая; К — керамическая; Б — бакелитовая; МД — металлическая мелкодисперсная; Г — круги с гальваническим покрытием.

концентрацию алмазного круга принято содержание 0,878 мг алмаза в 1 мм<sup>3</sup> алмазодержащего кольца. При 50-процентной концентрации алмазного порошка будет в два раза меньше и т. д. Концентрация круга должна соответствовать связке и характеру выполняемой операции. Круги на металлической связке бывают только со 100-процентной концентрацией, а круги на органической — с различной концентрацией.

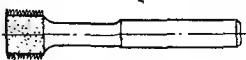

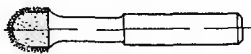
При выборе алмазных кругов следует исходить из конкретных условий, в которых они работают (табл. 10).

#### 4. ШЛИФОВАЛЬНЫЕ ГОЛОВКИ, НАДФИЛИ, БРУСКИ И ИХ НАЗНАЧЕНИЕ

Шлифовальные головки (табл. 11). Этот вид алмазного инструмента применяется при обработке отверстий деталей штампов, фильер, волок и т. д.

Таблица 11

Распространенные виды алмазных головок

Эскиз	Наименование головок	Обозначение
	Цилиндрические	АГЦ
	Сводчатые	АГГСв
	Полушаровые	АГПш

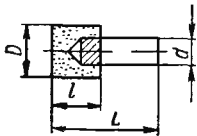
Головки состоят из стального корпуса (основания) и нанесенного на него алмазодержащего слоя. Корпуса головок изготавливаются из стали ХГ или ХГС (ГОСТ 5950—63) или же из стали У8А (ГОСТ 1435—54) и подвергаются термической обработке до твердости HRC 47—52. Шероховатость торцовых поверхностей корпуса (ГОСТ 2789—59) должна соответствовать 6-му классу, а посадочных мест и поверхностей, покрываемых алмазодержащим слоем, 7-му классу. Алмазодержащий слой готовится из синтетического или натурального алмазного порошка

(ГОСТ 9206—59) зернистостью АСМ28 (АМ28)—АС16 (А28) на различных связках, применяемых в алмазных кругах. Наносится этот слой на корпус методом прессования или методом гальванизации.

Размеры алмазных головок с прессованным алмазонасным слоем даны в табл. 12.

Таблица 12

Размеры головок с прессованным алмазонасным слоем

						
№ голов- ки	Размеры в мм				Вес алмазов в каратах при концентрации	
	D	d	L	l	50%	100%
1	3	2	50	6	0,08	0,16
2	4		50	6	0,15	0,30
3	5		50	6	0,20	0,40
4	5		60	8	0,27	0,54
5	6	3	50	6	0,31	0,62
6	6		60	10	0,50	1,00
7	8		50	6	0,60	1,20
8	8		60	10	1,00	2,00
9	10		60	10	1,60	3,20
10	10		80	16	2,60	5,20
11	12	6	60	10	2,10	4,10
12	12		80	16	3,30	6,60
13	16		80	12	4,80	9,60
14	16		90	20	8,00	16,00

**Надфили.** В табл. 13 даны эскизы и наименования 10 видов алмазных надфилей, которые применяются при обработке сложных профилей деталей штампов, различного инструмента и т. д.

Таблица 13

## Основные формы алмазных надфилей

Эскиз	Наименование надфилей	Обозначение
	Прямоугольные тупоно- сые	АНПТ
	Круглые тупоносые	АНКрТ
	Полукруглые тупоносые	АНПкТ
	Трехгранные тупоносые	АНТТТ
	Ножовочные тупоносые	АННТ
	Круглые остроносые	АНКрО
	Прямоугольные	АНП
	Круглые	АНКр
	Полукруглые	АНПк
	Трехгранные	АНТ

Алмазные надфили состоят из стального корпуса и нанесенного на него алмазоносного слоя (рис. 3). Корпуса надфилей, так же как и корпуса головок, изготавливаются из стали ХГ, или ХГС, или же из стали У8А и подвергаются термической обработке до твердости *HRC* 47—52. Шероховатость торцовых поверхностей корпуса должна соответствовать 6-му классу, а посадочных мест и поверхностей, покрываемых алмазоносным слоем, 7-му классу. Алмазоносный слой изготавливается из синтетического или естественного алмазного порошка зернистостью АС5 (А5)—АС16 (А16) на различных связках, применяемых в кругах.



Наносится он на корпуса надфилей такими же методами, как и на корпуса головок. Алмазные зерна должны быть равномерно распределены и прочно закреплены на корпусе.

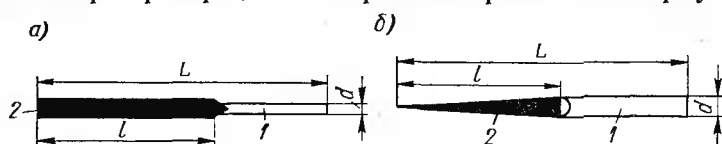


Рис.3. Основные размеры надфилей: а—тупоносого; б—остроносого; 1—корпус; 2—алмазоносный слой;  $L$ —длина надфиля;  $l$ —длина алмазоносного слоя;  $d$ —диаметр корпуса

При упаковке каждый надфиль должен сопровождаться паспортом по форме Ф1, утвержденной НИИ Алмазом, и помещаться в футляр, на который отчетливо нанесен

Таблица 14

### Алмазные бруски

Форма сечения	Наименование брусков	Обозначение	Размер в мм	Назначение
	Квадратные	БКв	От 5×5 до 10×10	Для общих работ
	Плоские	БП	От 6×5 до 10×5	
	Треугольные	БТ	От 6×8 до 10×12	
	Круглые	БКр	До 10	
	Полукруглые	БПК	От 6×5 до 10×8	
	Плоские	БХ	—	Для хонингования
	С выточкой	БХВ	От 11×0,2 до 150×8	

товарный знак завода-изготовителя и зернистость алмазного порошка. Упаковка, транспортировка и хранение надфилей производится согласно ОН 037-38—63.

**Бруски.** Алмазные бруски (табл. 14) применяются при обработке деталей штампов и измерительных инструментов, а также при хонинговании.

Бруски состоят из стального корпуса и нанесенного на него алмазоносного слоя, который готовится из алмазного порошка различной зернистости и на различных связках. Бруски для общих работ имеют органическую или металлическую связку, а бруски для хонингования — только металлическую. Нанесение алмазоносного слоя в последнее время производится гальваническим методом.

## 5. АЛМАЗНЫЕ ПАСТЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Наиболее высокие классы шероховатости поверхности достигаются при процессах доводки. В отечественной промышленности эти операции до последнего времени производились пастами из электрокорунда, карбида кремния, карбида бора и других абразивов в зависимости от обрабатываемого материала. Способы обработки пастами и порошками описаны в 10-м выпуске библиотечки шлифовщика \*.

В настоящее время в различных областях машиностроения широко используются алмазные пасты (табл. 15),готавливаемые из алмазных порошков (ГОСТ 9206—59).

НИИАлмаз, УкрНИСМИ, завод «Ильич» и другие организации разработали ряд составов алмазных паст, которые в зависимости от зернистости содержат жирные кислоты, вазелиновое или касторовое масло и олеиновую кислоту.

Работы, проведенные пастами с различными компонентами связки, показали, что пасты, в состав которых входят поверхностно-активные вещества (стеарин, олеиновая кислота и др.), обладают несколько большей производительностью за счет их химического воздействия на обрабатываемую поверхность. Однако решающее влияние на производительность процесса доводки все же оказывают физические свойства алмазного порошка, форма и гранулометрический состав его зерен.

---

\* З. И. Кремень и А. И. Павлючук. Абразивная доводка. М., изд-во «Машиностроение», 1967.

Таблица 15

## Алмазные пасты

№ пози- ции	Зернистость	Содержание алмаза в пасте (в каратах) при концентрации алмазного порошка						Расфа- совка пасты в г
		20%	10%	8%	6%	4%	2%	
1	AM40	10,0						10
2		25,0	—	—	—	—	—	25
3		50,0						50
4		100,0						100
5	AM28	10,0	5,0					10
6		25,0	12,5	—	—	—	—	25
7		50,0	25,0					50
8		100,0	50,0					100
9	AM20		5,0	4,0				10
10			12,5	10,0	—	—	—	25
11		—	25,0	20,0				50
12			50,0	40,0				100
13	AM14		5,0	4,0				10
14		—	12,5	10,0	—	—	—	25
15		—	25,0	20,0				50
16			50,0	40,0				100
17	AM10			4,0				10
18				10,0	—	—	—	25
19		—	—	20,0				50
20				40,0				100
21	AM7				3,0			10
22					7,5			25
23		—	—	—	15,0	—	—	50
24					30,0			100

Продолжение табл. 15

№ позиции	Зернистость	Содержание алмаза в пасте (в каратах) при концентрации алмазного порошка						Расфасовка пасты в г
		20%	10%	8%	6%	4%	2%	
25	АМ5				3,0	2,0		10
26					7,5	5,0		25
27		—	—	—	15,0	10,0	—	50
28					30,0	20,0		100
29	АМ3				3,0	2,0	1,0	10
30					7,5	5,0	2,5	25
31		—	—	—	15,0	10,0	5,0	50
32					30,0	20,0	10,0	100
33	АМ1				3,0	2,0	1,0	10
34					7,5	5,0	2,5	25
35		—	—	—	15,0	10,0	5,0	50
36					30,0	20,0	10,0	100

Для доводки и притирки могут применяться как алмазные порошки, так и пасты. Применение паст выгоднее и экономичнее. Ниже приводится ряд основных правил, соблюдение которых обязательно при использовании алмазных паст.

1. Для обеспечения высокого качества обрабатываемой поверхности, снижения расхода алмазов и сокращения времени на доводку алмазные пасты следует применять только после тщательной предварительной обработки и очистки изделий. Для твердых и хрупких материалов в качестве предварительной обработки под доводку лучше всего применять шлифование алмазными кругами соответствующей зернистости. В тех случаях, когда форма обрабатываемой поверхности не позволяет применять плоское, круглое наружное и фасонное шлифование, следует пользоваться алмазными надфилями.

2. Зернистость алмазной пасты следует выбирать, исходя из требуемой шероховатости поверхности, постепенно

переходя от более крупной к более мелкой пасте. Достижимый класс чистоты поверхности обуславливается рядом факторов, основными из которых являются зернистость алмазной пасты, обрабатываемый материал и его твердость, материал притира. Для получения чистоты поверхности в пределах 9—10-го класса следует применять пасты зернистостью АМ40—АМ14; в пределах 11—12-го класса — АМ10—АМ5; в пределах 13—14-го класса — АМ3—АМ1 и мельче.

3. В качестве материала для притира применяются чугуны, сталь, латунь, медь, фибра, древесина, кожа, войлок, фетр. Выбор притира зависит от обрабатываемого материала, его твердости и требуемой шероховатости поверхности.

Для осуществления процесса доводки необходимо, чтобы абразивные зерна шаржировались в поверхность притира. При выборе материала для притира следует руководствоваться следующими правилами:

а) притир во всех случаях должен быть мягче обрабатываемого материала;

б) чем глубже остаются риски на поверхности от предыдущей обработки и чем больше припуск необходимо снять при доводке, тем крупнее должна быть зернистость применяемой алмазной пасты и тверже притир;

в) при применении алмазных паст мелкой зернистости и необходимости получения высокого качества обрабатываемой поверхности следует применять более мягкие притиры;

г) применяя притиры различной твердости, можно получить разные результаты при использовании пасты одной и той же зернистости; лучшие результаты получены при применении притиров из чугуна.

4. Алмазную пасту в зависимости от условий работы можно наносить на притир или на обрабатываемую деталь. Следует работать с небольшим количеством алмазной пасты. В этом случае зерна распределяются равномерно, и каждое зерно совершает определенную работу. Накопление большого количества зерен затрудняет работу и не повышает производительности труда.

Успешное применение алмазных паст зависит не только от зернистости, но и от их концентрации и консистенции (табл. 16). В табл. 17 приведены рекомендации по применению паст для различных операций.

Таблица 16

Консистенция паст в зависимости от концентрации алмазов в пасте

Зернистость	Обозначение концентрации	Концентрация в %	Консистенция паст
АСМ40 (АМ40)	П <sub>2</sub>	60	К <sub>1</sub>
	П <sub>0</sub>	40	К <sub>1</sub> ; К <sub>2</sub>
	П <sub>1</sub>	20	К <sub>2</sub>
АСМ20 (АМ20)	П <sub>2</sub>	40	К <sub>1</sub> ; К <sub>2</sub>
	П <sub>0</sub>	20	К <sub>1</sub> ; К <sub>2</sub>
	П <sub>1</sub>	10	К <sub>2</sub>
АСМ20 (АМ20)	П <sub>2</sub>	20	К <sub>2</sub>
	П <sub>0</sub>	10	К <sub>2</sub>
	П <sub>1</sub>	8	К <sub>2</sub> ; К <sub>3</sub>
АСМ14 (АМ14)	П <sub>2</sub>	20	К <sub>2</sub>
	П <sub>0</sub>	10	К <sub>2</sub> ; К <sub>3</sub>
	П <sub>1</sub>	8	К <sub>2</sub> ; К <sub>3</sub>
АСМ10 (АМ10), АСМ7 (АМ7), АСМ5 (АМ5)	П <sub>2</sub>	10	К <sub>2</sub> ; К <sub>3</sub>
	П <sub>0</sub>	8	
	П <sub>1</sub>	5	
АСМ3 (АМ3)	П <sub>2</sub>	8	К <sub>2</sub> ; К <sub>3</sub>
	П <sub>0</sub>	6	
	П <sub>1</sub>	4	
АСМ1 (АМ1)	П <sub>2</sub>	6	К <sub>2</sub> ; К <sub>3</sub>
	П <sub>0</sub>	4	
	П <sub>1</sub>	2	

Условные обозначения: 1) концентрации: П<sub>2</sub> — пасты повышенной концентрации; П<sub>0</sub> — пасты нормальной концентрации; П<sub>1</sub> — пасты низкой концентрации; 2) консистенции: К<sub>1</sub> — густые пасты; К<sub>2</sub> — мазеобразные пасты; К<sub>3</sub> — жидкие пасты.

Таблица 17

## Применение паст

Зернистость пасты	Доводка	
	предварительная	окончательная
АСМ40—АСМ20	+	—
АСМ14—АСМ5	○	+
АСМ3—АСМ1	—	○
Условные обозначения: + — безусловное применение; ○ — условное применение; — — пасты не применяются.		

В настоящее время Украинским институтом сверхтвердых материалов (УкрНИСМИ) выпускаются пасты из синтетических алмазов (табл. 18).

Области применения алмазных паст весьма разнообразны. Они используются для окончательных доводочных операций при изготовлении особо точных деталей (1—2-й класс) с высокими требованиями к шероховатости поверхности (10—14-й класс), для обработки сверхтвердых и твердых материалов. Наилучшие результаты они дают при обработке сверхтвердых и хрупких материалов.

Используя алмазные пасты взамен паст из электрокорунда и карбида кремния, при той же зернистости можно получить увеличение производительности в 2—3 раза и более. Применяя более мелкие порошки, можно обеспечить шероховатость поверхности на два класса выше без понижения производительности.

5. Следует помнить, что при изготовлении паст много внимания уделяется тщательной классификации порошков по гранулометрическому составу, а также созданию необходимых условий, исключающих возможность загрязнения или попадания в пасту более крупных зерен. Любое крупное зерно может повредить обрабатываемую поверхность, оставив на ней глубокие риски, что ведет к дополнительной затрате труда на повторную обработку деталей и даже в некоторых случаях может привести к окончательному браку. Поэтому при работе алмазными пастами необходимо тщательное соблюдение чистоты рабочего места. Для пасты каждой зернистости необходимо применять

Таблица 18

## Алмазные синтетические пасты УкрНИСМИ

Условное обозначение	Размер зерен основной фракции в мкм	Условная окраска упаковки	Условное название группы
АСП100	100—80	Красная с черной полоской	Крупная
АСП80	80—60	Красная с серой полоской	
АСП60	60—40	Красная с белой полоской	
АСП40	40—28	Зеленая с черной полоской	Средняя
АСП28	28—20	Зеленая с серой полоской	
АСП20	20—14	Зеленая с белой полоской	
АСП14	14—10	Голубая с черной полоской	Мелкая
АСП10	10—7	Голубая с серой полоской	
АСП7	7—5	Голубая с белой полоской	
АСП5	5—3	Желтая с черной полоской	Тонкая
АСП3	3—1	Желтая с серой полоской	
АСП1	1 и мельче	Желтая с белой полоской	

Примечание. Алмазные пасты выпускаются трех концентраций: Н — нормальная; П — повышенная; В — высокая (например, АСМ14Н, АСМ14П, АСМ14В).

отдельный притир, маркируя его номером зернистости или окрашивая условным цветом, присвоенным пасте данной зернистости.

6. Работа по доводке чаще производится последовательно двумя-тремя алмазными пастами с постепенным переходом от более крупной зернистости к более мелкой. Число последовательно применяемых паст зависит от припуска и требуемой шероховатости обрабатываемой поверх-



ности. При небольших припусках и малых рисках доводка производится пастой одной зернистости, которая определяется требуемой шероховатостью поверхности при условии достижения максимальной производительности обработки. При массовом производстве в случае последовательной работы пастами нескольких зернистостей следует разделить доводку на несколько последовательных операций, поручив исполнителю работу пастой только одной зернистости. При переходе от более крупной зернистости к более мелкой необходимо тщательно промыть деталь спиртом, ацетоном или водой в зависимости от состава применяемой пасты. Алмазные пасты можно применять как при ручной, так и при машинной доводке. Наибольший эффект от применения алмазных паст достигается тогда, когда процесс доводки механизирован.

7. Оптимальными режимами доводки можно считать скорость притира, равную 3—6 м/мин, и удельное давление, равное 3,0—5,0 кг/см<sup>2</sup>.

На рис. 4 показано влияние удельного давления на производительность и расход алмазного порошка при доводке твердых сплавов (размером поверхности 12 × 20 мм) на притирах, изготовленных из чугуна и стали. Скорость притира  $v_n = 6$  м/мин, продольная подача  $s_{np} = 1,5$  м/мин. Из рисунка видно, что производительность возрастает по мере увеличения удельного давления и зернистости алмазного порошка, а также при применении чугуна в качестве материала притира. Удельный расход алмазного порошка при доводке уменьшается по мере уменьшения его зернистости. Уменьшение удельного

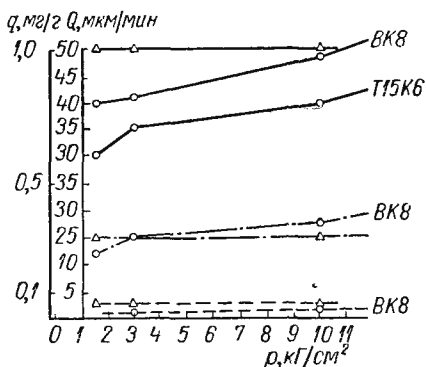


Рис. 4. Влияние удельного давления притира  $p$  на производительность  $Q$  и расход алмазного порошка  $q$  при доводке твердых сплавов при скорости притира  $v_n = 6$  м/мин:

△ — расход алмазного порошка  $q$ ; ○ — производительность  $Q$ ; — — — при обработке притиром из серого чугуна СЧ с пастой АСМ14; — — — при обработке притиром из стали 20Х с пастой АСМ14; - - - - - при обработке притиром из серого чугуна СЧ с пастой АСМ5

расхода наблюдается также и при переходе от чугунного притира к стальному. Производительность при работе стальным притиром резко снижается. Шероховатость обработанной поверхности улучшается по мере уменьшения давления на деталь. Лучшие результаты по шероховатости наблюдаются при доводке чугунным притиром.

Влияние зернистости на производительность и расход алмазного порошка при доводке твердых сплавов и сталей показано на рис. 5. Образцы подвергались обработке при

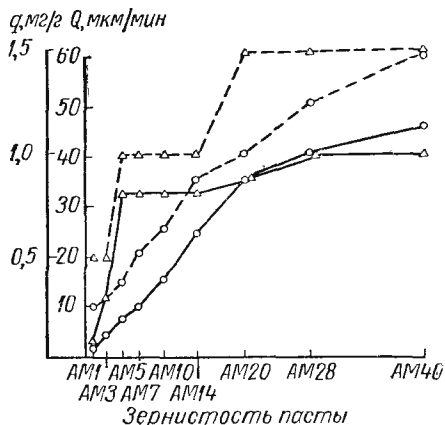


Рис. 5. Влияние зернистости пасты на производительность  $Q$  и расход алмазного порошка  $q$  при доводке пастой твердых сплавов и сталей:

$\Delta$  — расход алмазного порошка  $q$ ;  $\circ$  — производительность  $Q$ ; — — — при обработке твердого сплава; — — — при обработке сталей

скорости притира  $v_n = 6$  м/мин, давлении  $p = 6-8$  кг/см<sup>2</sup>. Лучшие результаты по производительности наблюдаются при доводке стали пастами крупной зернистости и при больших давлениях. Правда, при этих условиях расходуется большое количество алмазного порошка и ухудшается шероховатость обработанной поверхности.

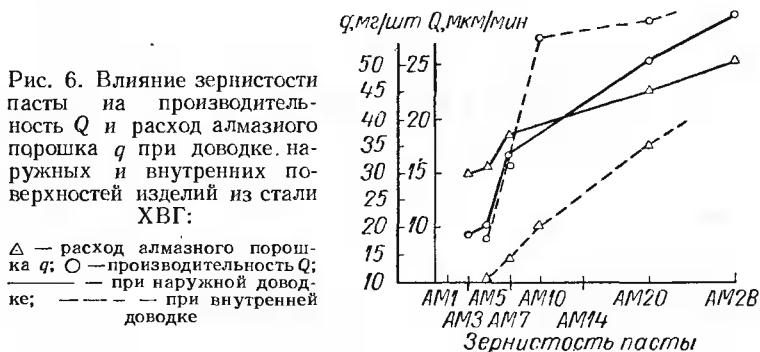
На основании приведенных данных можно рекомендовать пасты следующей зернистости:

1) АСМ40—АСМ20 для предварительной доводки;  
2) АСМ14—АСМ7 и АСМ5—АСМ3 для окончательной доводки;

3) АСМ1 и другие пасты меньшей зернистости для самых тонких операций обработки твердых сплавов и сталей.

На рис. 6 показано влияние зернистости пасты на производительность и расход алмазного порошка при доводке наружных и внутренних поверхностей изделий из стали ХВГ. Наружная доводка велась при скорости притира

$v_n = 29,4$  м/мин и давлении  $p = 4$  кг/см<sup>2</sup>; внутренняя — при  $v_n = 4,3$  м/мин и  $p = 0,5—1,0$  кг/см<sup>2</sup>. Как видно из рис. 6, производительность доводки внутренних поверхностей значительно выше производительности доводки наружных. Удельный расход паст в обоих случаях довольно велик, что объясняется отсутствием устройства для сбора отходов пасты и несвоевременным нанесением паст на притир. Однако при доводке внутренних поверхностей расход пасты значительно меньше.



Применение паст зернистостью АСМ7—АСМ5 обеспечивает шероховатость поверхности, соответствующую 11-му классу чистоты, и необходимую точность, предъявляемую к данным изделиям.

Результаты доводки деталей из стали ХВГ и сплава ВК8 алмазными пастами разной зернистости даны в табл. 19.

Таблица 19

Результаты доводки деталей

Зернистость пасты	Материал	Производительность в мкм/мин	Расход пасты в мг/г	Класс шероховатости
АСМ40—АСМ20	Сталь ХВГ	45—70	1,5—2,0	8—10
	Сплав ВК8	35—50	1,0—1,5	
АСМ14—АСМ5	Сталь ХВГ	20—45	1,0—1,2	9—11
	Сплав ВК8	8—25	0,8—1,0	
АСМ3—АСМ1	Сталь ХВГ	10—20	0,3—0,6	10—13
	Сплав ВК8	2—8	0,1—0,4	

## Глава III

# ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ И ДОВОДКИ

### 6. ТИПЫ СТАНКОВ И ИХ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

При отделочных операциях применяются круглошлифовальные, плоскошлифовальные и профилешлифовальные станки, а также установки и станки для механизации слесарно-доводочных и притирочных работ и электролитического шлифования (табл. 20).

Таблица 20

Станки для отделочных операций

Наименование станка	Модель станка
Круглошлифовальные для наружного шлифования	310П 3110 3В110 312М
Круглошлифовальные для внутреннего шлифования	3225 3А226 3А227 3А228
Плоскошлифовальные с прямоугольным столом для шлифования плоскостей деталей	3Б71М 3701 3711 3Г71М

Продолжение табл. 20

Наименование станка	Модель станка
Профилешлифовальные для шлифования профильных деталей	3П95 395М 1СПШ 5КШС 2СШО
Установки и станки для механизации слесарно-доводочных и притирочных работ	1ПДС 2ПДС 3УМД
Станки электролитического действия (плоское и круглое шлифование)	2ПЭШ 3110 МА3623

Таблица 21

## Допускаемые отклонения по точности шлифовальных станков

Наименование отклонения	Класс точности станка	Допускаемые отклонения в мм для станков				
		круглошлифовальных	внутришлифовальных	плоскошлифовальных с прямоугольным столом		Профилешлифовальных
				шлифование периферией круга	шлифование торцом круга	
Радиальное биение центрирующей шейки шлифовального шпинделя под круг	П	0,004	0,010	0,005	0,006	0,006
	В	0,0025	0,006	0,003	—	—
	А	0,0016	0,004	0,002	—	—
	С	0,001	—	—	—	—
Осевое биение шлифовального шпинделя	П	0,004	0,003	0,004	0,004	0,005
	В	0,0025	0,002	0,0025	0,004	—
	А	0,0016	0,0012	0,0016	0,0025	—
	С	0,0010	—	—	—	—

Для алмазного шлифования и доводки твердосплавных и стальных деталей необходимы станки повышенной (П), высокой (В), особо высокой (А) и сверхвысокой (С) точности. При круглом наружном и внутреннем шлифовании применяются станки повышенной и высокой точности, при плоском и профильном шлифовании — станки особо высокой и сверхвысокой точности.

Допускаемые отклонения на радиальное биение центрирующей шейки шпинделя под шлифовальный круг и осевое биение этого шпинделя для различных станков даны в табл. 21.

В табл. 22—24 приведены основные технические характеристики круглошлифовальных, плоскошлифовальных и профилишлифовальных станков.

Таблица 22

**Основные технические характеристики наружных и внутренних круглошлифовальных станков**

Параметры	Величина параметров станков			
	3Б225	3А228	312М	3В110
Диаметр шлифуемого отверстия в мм	6 и 15	До 50	200	100
Поперечное перемещение шлифовальной бабки в мм	50	10—60	215	125
Наибольший ход стола в мм	300	500	—	—
Скорость движения стола в м/мин	0,25—10,0	1,5—8,0	0,2—6,0	0,3—2,0
Скорость круга в м/сек	15	15	25	25
Диаметр круга в мм	4—12	До 32	250	200
Общая мощность в квт	5,0	7,0	4,75	3,0
Габариты станка в мм	1680× ×890× ×1380	3360× ×1570× ×160	2000× ×1365× ×1365	—
Вес станка в кг	1700	4755	2877	1600

Таблица 23

## Основные технические характеристики плоскошлифовальных станков

Параметры	Величина параметров станков	
	3701	3Г71М
Размеры шлифуемых изделий в мм:		
ширина . . . . .	125	200
высота . . . . .	320	320
длина . . . . .	400	630
Рабочая поверхность стола в мм	400×125	630×200
Размеры шлифовального круга в мм	200×75×25	250×75×25
Окружная скорость круга в м/сек	35	35
Пределы продольных подач в м/мин	2—25	5—20
Общая мощность станка в квт	3,96	3,005
Вес станка в кг	2150	1900

Таблица 24

## Основные технические характеристики профишлифовальных станков

Параметры	Величина параметров станков			
	3П95	395М	1СПШ	5КШС
Размеры детали в мм	150×60	150×60	100×200	200×200
Скорость перемещения шлифовальной головки в мм/мин	—	2—20	125—330	—
Длина хода шлифовальных салазок в мм	60	50	230—330	70
Число двойных ходов салазок в 1 мин	47 и 56	46 и 85	—	—
Размеры шлифовального круга в мм	130×32× ×3	125	—	200
Рабочая плоскость экрана в мм	—	500×500	—	—
Общая мощность станка в квт	0,6	2,45	0,5	3,0
Габариты станка в мм	1500× ×1200× ×1500	1485× ×1600× ×2000	1500× ×1400× ×2500	1500× ×1000× ×1400
Вес станка в кг	950	1560	1700	120

## 7. ПРОФИЛЕШЛИФОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ

Станки этого типа предназначены для шлифования с высокой точностью сложных наружных профилей пуансонов, составных матриц, шаблонов и тому подобных деталей любого профиля.

Все современные профилешлифовальные станки можно разделить на три группы, методы обработки на которых основаны на следующих принципах:

*1-я группа* — на копировании при помощи пантографа контура чертежа или шаблона детали, выполненных в увеличенном масштабе.

*2-я группа* — на совмещении контура обрабатываемого профиля детали с соответствующим контуром на чертеже, выполненном в увеличенном масштабе.

*3-я группа* — на геометрическом построении отдельных участков профиля при помощи математического расчета и механического определения координатных размеров этих участков.

**Станок фирмы «Лёве».** Принцип работы этого станка основан на копировании увеличенного контура чертежа с уменьшением его до натуральных размеров при помощи пантографа.

Станок позволяет обрабатывать детали из закаленных сталей и твердого сплава. Точность обработки профиля без смены чертежа составляет 0,01 мм, чистота обработки соответствует 7-му классу.

**Станок модели 3П95.** Метод обработки профиля детали на этом станке основан на обкатке контура шлифовальным кругом по копиру-шаблону, закрепленному на специальном столике станка. Связь шлифовального круга с копиром осуществляется через пантограф, отношение величины плеч которого может измениться в пределах от 1 : 1 до 20 : 1 в зависимости от масштаба увеличения копира.

Точность обработки при хорошо выполненных копиях (с большим увеличением) достигает 0,01 мм.

**Оптический профилешлифовальный станок модели 395М.** Принцип работы станка основан на совмещении обрабатываемого профиля с соответствующим контуром этого профиля на чертеже. Чертеж профиля изготавливается в увеличенном масштабе, а профиль детали проектируется на чертеж в том же масштабе увеличения. Шли-



фование детали с профилем, расположенным по окружности, производится при помощи специального приспособления.

При точно вычерченном и хорошо установленном на экране чертеже точность обработки профиля доходит до 0,01 мм, чистота обработки соответствует 7-му классу.

**Станок модели 1СПШ** (рис. 7). Этот станок позволяет шлифовать профили, составленные из дуг окружностей и прямых линий, связанных координатными размерами.

Станок работает без увеличенных контурных чертежей и шаблонов-копиров. В основу метода обработки профиля заложено поэлементное шлифование отдельных участков, контур которых является правильной геометрической линией (дуга окружности или прямая). Положение этих участков в общем профиле определено размерами чертежа или специально рассчитывается при составлении технологического процесса обработки.

Обработка профиля, основанная на законах геометрического построения, обеспечивает точные плавные кривые и прямые участки без микроплощадок.

Шероховатость обработанной поверхности соответствует 8-му классу, точность обработки доходит до 0,01 мм, а при особо точных установках — до 0,005 мм.

За одну установку станок позволяет обрабатывать детали, ограниченные по всему периметру замкнутым профилем. Максимальный габарит профиля, который можно обработать за одну установку детали, определяется

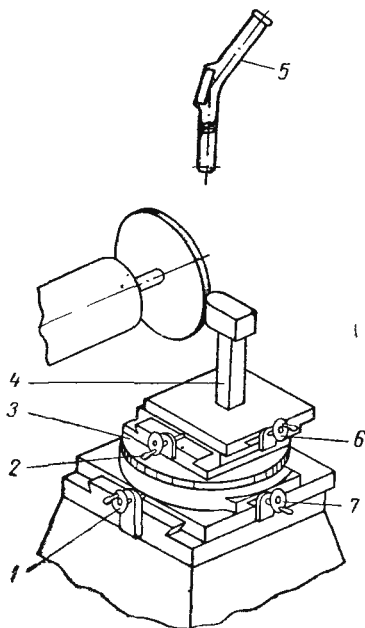


Рис. 7. Схема обработки профиля детали на станке модели 1СПШ:

- 1 — рукоятка перемещения салазок;  
 2 — рукоятка окончательного поворота каретки; 3 — диск; 4 — обрабатываемая деталь; 5 — микроскоп; 6 — рукоятка окончательного перемещения салазок;  
 7 — поворот каретки

прямоугольником  $200 \times 100$  мм и радиусами, указанными в технической характеристике.

При помощи координатных столов и микроскопа возможен контроль обработанного профиля без снятия детали со станка.

**Станок модели Зр196.** Данный станок является модернизированной конструкцией станка модели 1СПШ. Основное его отличие от предшественника заключается в том, что он снабжен сменными электрошпинделями с числом оборотов в 1 мин  $n_1 = 11\,400$  и  $n_2 = 5700$  и механическим перемещением суппортов шлифовальной головки, приводимых в движение самостоятельными электродвигателями.

Метод обработки деталей на этом станке тот же, что и на станке модели 1СПШ.

## 8. КООРДИНАТНО-ШЛИФОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ

Координатно-шлифовальные станки значительно повышают качество обрабатываемых деталей, снижают трудоемкость изготовления, исключают брак, возникающий в результате деформаций при термообработке, а в некоторых случаях создают возможность упрощать конструкцию деталей.

**Станок фирмы «Хейзер» модели 3SM.** Данный станок предназначен для шлифования отверстий, связанных координатными размерами с базовыми поверхностями. Он позволяет обрабатывать цилиндрические и конические отверстия, причем для обработки конических отверстий имеется специальное устройство автоматического смещения планетарного вращения оси шпинделя. Станок работает по принципу координатно-расточных станков. Прилагаемые к станку специальные приспособления дают возможность обрабатывать сложные профили, составленные из дуг окружностей и прямых линий.

Точность координатных размеров между осями обрабатываемых отверстий доходит до  $0,003$  мм, а точность геометрических размеров отверстий — до 2-го класса. Минимальный диаметр обрабатываемого отверстия равен  $1$  мм, шероховатость поверхности соответствует 8—9-му классу.

В процессе обработки деталей станок позволяет производить контрольные измерения, а также выполняет функции контрольно-измерительного прибора.

**Станок фирмы «Матрикс».** Этот станок предназначен для шлифования отверстий, связанных координатными размерами с базовыми плоскостями или между собой. Действие станка основано на схеме работы координатно-расточных станков, что позволяет обрабатывать круглые цилиндрические и конические отверстия, а также сквозные пазы.

Поэтому обработку деталей на этом станке производят так же, как и на координатно-расточных станках. Для шлифования сложных профилей он не приспособлен.

Станок обеспечивает высокие точности координатных размеров (до  $0,002$  мм), а его высокоскоростные электрошпиндели дают возможность обрабатывать отверстия диаметром до  $2$  мм при сравнительно нормальных скоростях резания абразивным инструментом. Шероховатость обработанной поверхности соответствует 8—9-му классу.

В процессе обработки станок позволяет производить контрольные измерения и может выполнять функции контрольно-измерительного прибора.

**Станок модели 5КШС.** Данный станок предназначен для окончательного точного шлифования круглых отверстий и отверстий сложного профиля, в деталях штампов, прессформ, форм для литья под давлением и тому подобных деталей. Он позволяет обрабатывать отверстия, профиль которых составлен из дуг окружностей и прямых линий и обеспечивает точные геометрические размеры между осями этих отверстий. Станок работает без применения копиров и контурных чертежей.

Обработка круглых и конических отверстий производится по принципу работы внутришлифовальных станков, а обработка плоскостей по принципу плоскошлифовальных станков.

Метод обработки отверстий сложного профиля основан на поэлементном шлифовании отдельных участков, контур которых представляет собой часть дуги окружности или прямую линию. Обработка группы отверстий, взаимосвязанных координатными размерами, так же, как и отверстий сложного контура, производится путем перемещения кареток координатного стола. Такие универсальные возможности станка обеспечиваются его кинематикой и конструкцией.

Для обработки режущих граней матриц вырубных штампов, имеющих малый угол уклона ( $30$ — $45^\circ$ ),

поворотный круг каретки снабжен синусным упором, расположенным на плече на расстоянии 100 мм от оси поворота. Это позволяет с помощью концевых мер установить каретку на малый угол. Суппорт со всеми расположенными на нем устройствами может перемещаться по направляющим с помощью ходового винта на врезание.

Для осуществления перемещения суппорта на специальной угловой стойке расположено измерительное устройство.

При помощи ходового винта и маховичка каретка перемещается по направляющим этого устройства в направлении, параллельном перемещению суппорта. Каретка снабжена линейкой и площадкой с индикаторным упором для установки концевых мер длины.

Оптическим измерителем станка служит угловой монокулярный микроскоп ( $\times 25$ ) с фокусным расстоянием 40 мм и сеткой с перекрестием.

**Станок модели 5КШС.** Этот станок выгодно отличается от координатно-шлифовальных станков фирм «Хейзер» и «Матрикс» тем, что он позволяет шлифовать сложные профили без дополнительных приспособлений. Точность обработки характеризуется следующими параметрами: координатные размеры между осями отверстий — до 0,01 мм, размеры криволинейных поверхностей — до 0,01 мм, шероховатость поверхности — 8-й класс.

Координатные размеры между осями измеряются при помощи микроскопа, смонтированного на станке. Не снимая детали со станка, можно производить все контрольные измерения.

**Станок модели 2СШО.** Данный станок предназначен для шлифования пройм клиновых обойм прессформ и тому подобных деталей. Он позволяет обрабатывать с высокой точностью и чистотой поверхности сквозные проймы и глухие полости квадратного, прямоугольного или многогранного профилей, причем стороны проймы практически могут быть наклонены под любым углом.

Принцип действия станка весьма прост и основан на совокупности работы внутришлифовального и плоскошлифовального станков, причем обрабатываемая деталь закрепляется на поворотном делительном столе, который можно устанавливать под углом относительно вертикальной плоскости. При повороте стол фиксируется специальным фиксирующим пальцем через каждые 15°.

Синусный диск, закрепленный на оси стола, позволяет поворачивать его с высокой точностью на любой угол, что дает возможность обрабатывать профили с любым количеством граней и высокой угловой точностью. Шероховатость обработанной поверхности соответствует 8-му классу, а точность обработки — 3-му классу.

## 9. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МЕХАНИЗАЦИИ СЛЕСАРНО-ДОВОДОЧНЫХ РАБОТ

**Установка ЗУМД.** Эта установка предназначена для механизации ручных слесарно-доводочных работ при обработке сложноконтурных сквозных и объемных плоско-

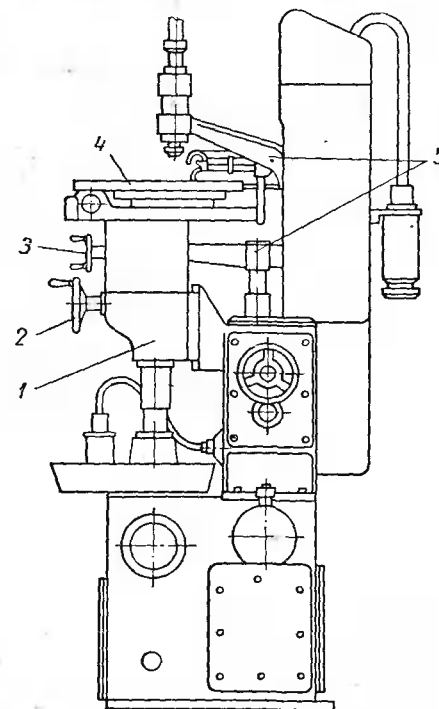


Рис. 8. Притирочно-доводочный станок модели 2ПДС:

1 — кронштейн; 2 — маховик вращения; 3 — маховик наклона стола; 4 — координатный стол; 5 — кронштейн

стей в деталях прессформ, форм для литья под давлением и т. д. Можно также производить чистовую обработку открытых поверхностей, сквозных и глухих окон различной конфигурации с прямыми и наклонными поверхно-

стями, сопряженными по дуге окружности любого радиуса, а также поверхностей сложного рельефа.

Принцип действия установки основан на методе обработки вращающимися инструментами и инструментами, совершающими плосколинейные движения. Для обеспечения этих движений установка укомплектована электроприводом, набором рабочих головок, приспособлений и инструмента. Бесступенчатое регулирование скоростей движения инструментов обеспечивается ножным pedalным реостатом.

Способ обработки на установке не отличается от обычных слесарно-доводочных способов.

Станок модели 2ПДС (рис. 8). Данный станок предназначен для доводки фасонных отверстий и наружных поверхностей в деталях оснастки, составленных из прямых участков и дуг окружностей.

Кроме возвратно-поступательного движения, доводочные инструменты круглого сечения могут совершать и вращательное движение.

Доводка на станке обеспечивает получение высокой точности (до 1-го класса и выше) и высокой чистоты обработанной поверхности (до 13-го класса).

## Глава IV

# АЛМАЗНОЕ ШЛИФОВАНИЕ И ДОВОДКА ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ И СТАЛЕЙ

## 10. РЕЖИМЫ И УСЛОВИЯ ОБРАБОТКИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Для шлифования и доводки используются алмазные шлифовальные круги; на них расходуется до 30—35% всех технических алмазов, применяемых в промышленности.

Практикой отечественных и зарубежных заводов установлено, что при обработке алмазными шлифовальными кругами твердосплавных деталей значительно повышаются технико-экономические показатели процесса по следующим направлениям:

- 1) уменьшается трудоемкость операции;
- 2) увеличивается износостойкость обработанных деталей;
- 3) повышается культура выполнения операций шлифования и доводки и снижается их себестоимость.

В настоящее время в промышленности наряду с обычно применяемыми марками твердых сплавов ВК8 и Т15К6 все больше используются улучшенные твердые сплавы ВК6В, ВК8В, а также высококобальтовые сплавы ВК11А и ВК15.

Раньше инструмент, оснащенный такими сплавами, шлифовался кругами из карбида кремния (на керамической связке) зернистостью 32—20 и твердостью СМ1—СМ2, а доводился либо кругами из того же материала (на бакелитовой связке) зернистостью 10—6, либо порошком или пастой карбида бора зернистостью 5—4. Такой технологический процесс не обеспечивал достаточно высокого качества обработанных поверхностей по шероховатости; их напряженному состоянию и не давал достаточной производительности.

Теперь при шлифовании используются алмазные круги АС16—АС8, а при доводке — круги АС6—АСМ40. Для

достижения более производительной обработки применяются круги А32—А20, а для получения более чистой поверхности (10—11-й класс и выше) — круги АМ14 и мельче.

Широкое применение при шлифовании получили круги на металлической связке (бронза) и при доводке — круги на бакелитовой связке. Круги на металлической связке М5 в некоторых случаях позволяют в несколько раз по сравнению с обычной металлической связкой М1 увеличить производительность и уменьшить расход шлифовального круга при той же шероховатости обработанной поверхности и без дефектов. Как показала практика, лучшими органическими связками являются связки ТО2 и Б1. Для специальных видов работ (фасонные детали и детали маленьких размеров) используются круги и притиры, на которые алмазное зерно наносится гальваническим способом. Такие круги изготавливаются в один или несколько слоев.

Кроме перечисленных связок, недавно начали применять керамическую связку. Круги на такой связке могут быть использованы для предварительного шлифования и доводки.

При шлифовании и доводке изделий из твердых сплавов алмазными кругами необходимо соблюдать режимы, указанные в табл. 25.

Ввиду высоких режущих свойств алмазных зерен для шлифования иногда используют несортные алмазные порошки из отходов алмазного производства. Несортные порошки являются обязательными спутниками при добыче природных алмазов. Они отличаются большим количеством примесей (до 13%). Ранее отходы алмазного производства не использовались, но в последнее время они стали применяться в шлифовальных кругах. Использование несортных алмазов в промышленности не только увеличит баланс алмазного сырья в стране, что очень важно, но уменьшит себестоимость обработки.

Круги из несортных алмазных порошков изготавливаются на бакелитовых связках Б1 и Б2 с 50-процентной концентрацией.

На рис. 9 представлена диаграмма по износу кругов  $q$ , изготовленных из несортных (I) и сортных (II) алмазных порошков на бакелитовой связке Б1, при обработке поверхности твердых сплавов площадью  $65 \text{ мм}^2$ . Обработка

Таблица 25

## Режимы шлифования твердых сплавов

Вид шлифования	Требуемый класс чистоты обрабо- танной поверх- ности (ГОСТ 2789—59)	Характеристика круга			Притупск на об- работку в мм	Режимы обработки				
		обозначение	зернистость	с языка		Скорость вращения крута в м/сек	Скорость вращения в м/мин	подача в м/мин	поперечная подача в мм/ход	Глубина шлифованная в мм
Плоское	7	АПП	A12—A10	М	0,1—0,2	15—20	—	5,0	0,5	0,04
	8		A10—A8					4,0	0,5	0,03
	9		A8—A6					3,0	0,4	0,02—0,03
	10		A5—A4					2,0	0,3	0,01—0,02
Круглое наружное	7	АПП	A12—A10	М	0,1—0,2	15—20	10—20	0,8	—	0,0075—0,01
	8		A10—A8					0,5	—	0,0075—0,01
	9		A8—A6					0,5	—	0,0075—0,01
	10		A5—A4					0,3	—	0,005— 0,0075

Продолжение табл. 25

Вид шлифования	Требуемый класс чистоты обрабо- танной поверх- ности (ГОСТ 2789—59)	Характеристика круга		Притупку в мм	Режимы обработки					
		обозначение	зернистость		связка	скорость вращения круга в м/сек	скорость вращения изделия в м/мин	подача в мм/мин	поперечная подача в мм/ход	глубина шлифования в мм
Круглое внутреннее	7	A2ПП	A12—A10	M	0,1—0,2	10—20	20—30	0,5	—	0,0075—0,01
	8	AПП	A10—A8					0,4	—	0,005— 0,0075
	9	Головка АГЦ	A8—A6					0,4	—	0,005— 0,0075
	10		A5—A4							
Профильное	7	A2П	A12—A10	M	0,1—0,2	20—25	—	1,0—1,5	0,001— 0,005 об/мин	0,02—0,03
	8		A10—A8							
	9		A8—A6						0,05—0,1	20—27

Примечания: 1. Обработке подвергаются изделия из твердых сплавов групп ВК и ТК.  
2. Обработка ведется с охлаждением.



велась без охлаждения при  $v_{кр} = 30 \text{ м/сек}$ ;  $t = 0,01 \text{ мм}$ ;  $s_{np} = 1,0 \text{ м/мин}$ . Концентрация алмазов в кругах 50%.

Как видно из рисунка, износ кругов  $q$  из несортных алмазных порошков больше, чем кругов из сортовых. Однако такая большая величина износа для кругов из несортных алмазов не катастрофична, так как это не превышает стоимости расходуемых сортовых алмазов.

При изготовлении кругов из несортных алмазов лучше

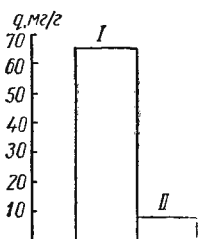


Рис. 9. Диаграмма износа кругов, изготовленных из несортного (I) и сортового (II) алмазного порошка на бакелитовых связках Б1 и Б2.

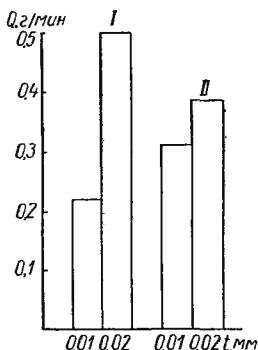


Рис. 10. Диаграмма производительности алмазных кругов  $Q$ , изготовленных из несортного (I) и сортового (II) алмазного порошка на бакелитовой связке Б2 в зависимости от различных глубины резания  $t$

применять бакелитовую связку Б2 как наиболее экономически выгодную. Исходя из этого, производительность (в данном случае сьем твердого сплава) определялась при работе кругами именно на этой связке (рис. 10) при  $v_{кр} = 30 \text{ м/сек}$ ;  $s_{np} = 1,0 \text{ м/мин}$ . Площадь обрабатываемой поверхности равнялась  $110 \text{ мм}^2$ , поперечная подача —  $0,01$  и  $0,02 \text{ мм}$ .

Производительность обработки кругами из несортных алмазов при поперечной подаче  $s_{non} = 0,01 \text{ мм}$  меньше производительности, полученной кругами из сортового алмазного порошка, а при  $s_{non} = 0,02 \text{ мм}$  превышает ее (рис. 10).

На рис. 11 приведена диаграмма шероховатости поверхности твердых сплавов, обработанных при различных глубинах резания и различной зернистости кругов, изготов-

ленных из несортных алмазных порошков. Площадь обрабатываемой поверхности равнялась  $65 \text{ мм}^2$ . Обработка велась при  $v_{кр} = 30 \text{ м/сек}$   $s_{пр} = 1,0 \text{ м/мин}$ . Круги зернистостью А10 дают более шероховатую поверхность, чем круги зернистостью А5. С увеличением поперечной подачи шероховатость возрастает.

При круглом наружном и плоском шлифовании обработку следует вести более широкими кругами, независимо

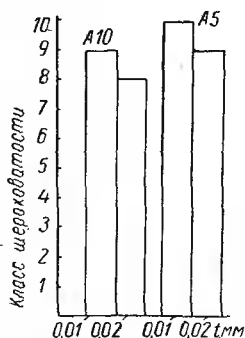


Рис. 11. Диаграмма шероховатости поверхности, обработанной кругами из несортного алмазного порошка при различных глубинах резания  $t$  и различной зернистости круга

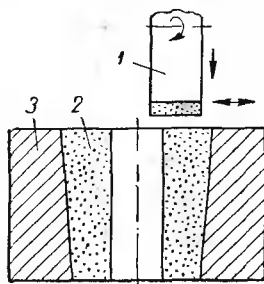


Рис. 12. Схема обработки твердосплавных изделий:

1 — круг; 2 — вставка из твердого сплава; 3 — корпус штампа из стали

от того, из каких алмазов они изготовлены. Закрепление изделия в центрах и на плите должно осуществляться с таким расчетом, чтобы оно не прогибалось и было параллельно рабочей поверхности круга.

Шлифование и доводку изделий, состоящих из стали и твердого сплава, следует осуществлять в направлении от стали к сплаву, что сокращает износ круга (рис. 12). Ширина алмазоносного слоя круга должна быть меньше ширины обрабатываемой поверхности.

При обработке инструментов алмазными кругами на металлических связках охлаждение обязательно (подача охлаждающей жидкости должна составлять не менее  $3-5 \text{ л/мин}$ ). Необходимо охлаждение при больших контактных поверхностях (более  $1 \text{ см}^2$ ) и при обработке стальных деталей. Доводку твердого сплава можно осуществлять без охлаждения.

Применение смазывающе-охлаждающих жидкостей уменьшает нагрев в месте контакта инструмента с алмазным кругом и способствует снижению усилий обработки, что, в свою очередь, уменьшает износ алмазных зерен и препятствует налипанию стружки на рабочую поверхность круга. Шероховатость поверхности с применением смазывающе - охлаждающих жидкостей улучшается на один класс.

Схема системы охлаждения круга и изделия при помощи полива охлаждающей жидкостью показана на рис. 13.

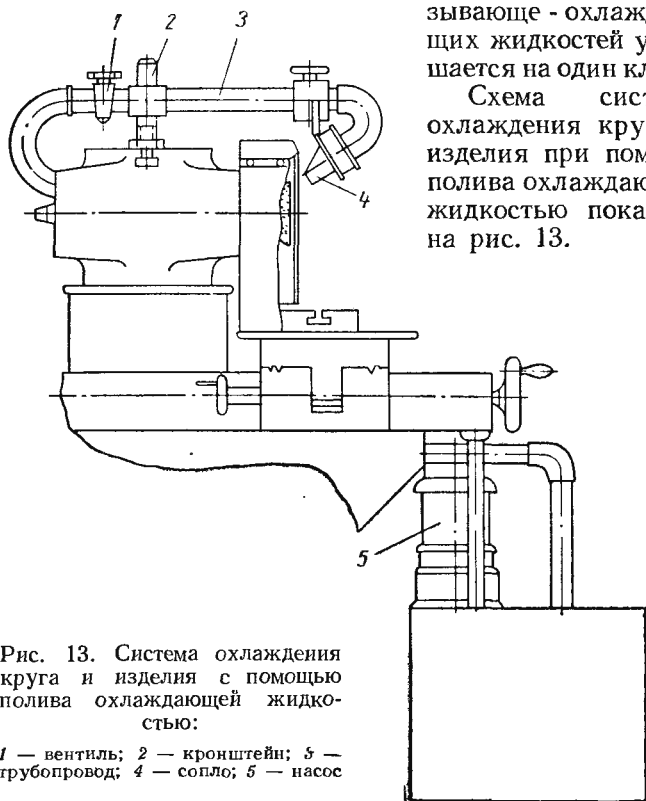


Рис. 13. Система охлаждения круга и изделия с помощью полива охлаждающей жидкостью:

1 — вентиль; 2 — кронштейн; 3 — трубопровод; 4 — сопло; 5 — насос

Для кругов на органической связке рекомендуется следующий состав водного раствора: тринатрийфосфат — 0,6%; вазелиновое масло — 0,05%; бура — 0,3%; кальцинированная сода — 0,25%; нитрат натрия — 0,10%. Вместо смазки можно использовать пасту, которая должна включать две части технического вазелина и одну часть парафина, нанося ее на рабочую поверхность круга. Можно также периодически (2—3 раза в смену) смазывать

поверхность алмазонасного слоя войлочным тампоном, пропитанным маслом. Применять щелочные растворы при обработке кругами на органической связке нельзя, так как это ведет к разрушению связки.

Алмазные круги на металлической связке применять без смазывающе-охлаждающих жидкостей нельзя ввиду их сильного засаливания (при засаливании появляется

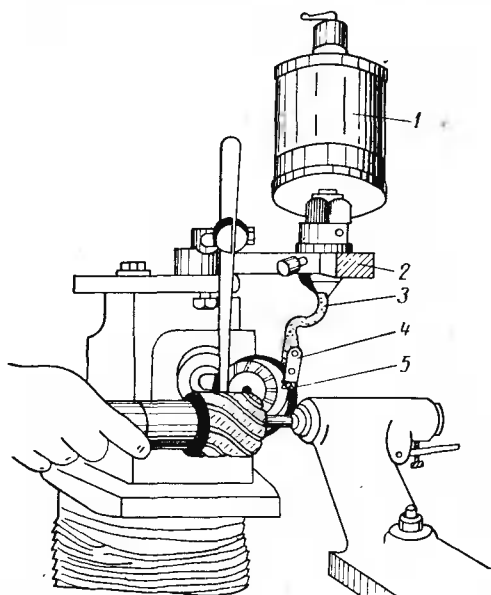


Рис. 14. Система охлаждения круга и изделия капельным или фитильным способом:

1 — масленка; 2 — кронштейн; 3 — трубопровод; 4 — наконечник; 5 — фильтр

характерный звук—круг как бы начинает звенеть). Для кругов на металлической связке рекомендуется следующий состав водного раствора: триэтаноламин — 0,4%; нитрат натрия — 0,4%, тринатрийфосфат — 0,3%; кальцинированная сода — 0,3%; бура — 0,5%, смачиватель ОП7 (или ОП10) — 0,1%.

При охлаждении струйным поливом (3—4 л/мин) следует применять воду с небольшим количеством (3—5%) легкого масла (например, веретенного), чтобы предотвратить коррозию станка. Это охлаждение можно с успехом применять для алмазных кругов как на бакелитовой, так и на металлической связках.

Если нет возможности осуществить струйный полив, то для кругов на металлической связке с успехом можно

применять смесь, состоящую из  $\frac{2}{3}$  частей керосина и  $\frac{1}{3}$  части машинного масла. Подача смеси осуществляется капельным или фитильным способом (рис. 14). Этот способ охлаждения нашел широкое применение на ряде заводов. На станках устанавливаются капельницы (небольшие резервуары), из которых смазывающе-охлаждающая жидкость по тонкой металлической трубке поступает к войлочному тампону, прижимаемому с незначительным усилием к поверхности алмазоносного слоя.

## 11. РЕЖИМЫ И УСЛОВИЯ ОБРАБОТКИ СТАЛЕЙ

На ряде заводов и в некоторых институтах (ГАЗ, НИИАлмаз, ЗИЛ и др.) проведен ряд исследовательских работ с целью определения возможности и целесообразности шлифования легированных закаленных сталей алмазными кругами. Результаты этих работ приводятся ниже.

Шлифование проводилось на различных марках инструментальных сталей, охватывающих четыре группы сталей. Из быстрорежущих сталей были выбраны сталь Р18 и сталь новой марки Р14Ф4, из группы углеродистых и легированных сталей — сталь ХВГ, из группы сталей для холодного деформирования — стали Х12Ф1 и 6ХВФ, из группы сталей для измерительных инструментов и подшипников качения различных деталей машиностроения — стали ШХ15 и Х.

Работа велась на станках ЗБ71М, ЗГ71, 3158, 312М алмазными кругами на металлической и органической связках как из естественного, так и из синтетического алмазов.

Хорошие результаты при шлифовании быстрорежущей стали Р18 показал алмазный круг АС5 Б1 (50%). В данном случае максимальный удельный расход алмаза составлял 15 мг/г, минимальный — 6 мг/г, производительность изменялась в пределах 0,15—0,58 г/мин, шероховатость поверхности соответствовала 9—10-му классу в зависимости от продольной подачи.

С увеличением концентрации алмазного зерна в круге расход алмаза уменьшается: при 50-процентной концентрации удельный расход алмаза составляет 10 мг/г, при 200-процентной — 8 мг/г. Шероховатость поверхности соответствует 9—10-му классу. Уменьшение удельного

расхода алмаза с увеличением концентрации происходит в результате уменьшения сил резания и увеличения числа зерен, действующих в пределах дуги контакта.

С уменьшением размера алмазных зерен при прочих равных условиях они изнашиваются быстрее. При этом минутная производительность изменяется по линейной зависимости в сторону уменьшения, шероховатость поверхности меняется незначительно

При шлифовании стали марки Р14Ф4 отмечен повышенный расход алмаза (шероховатость поверхности соответствует 9—10-му классу). Производительность алмазного круга при скорости стола 4 м/мин составляла 0,28 г/мин, а при скорости 15 м/мин — 0,68 г/мин. Шлифование этой стали производилось алмазным кругом АС6 Б1 (150%) при  $v_{кр} = 30$  м/сек;  $s_{np} = 8$  м/мин;  $s_{non} = 0,6$  мм/дв. ход;  $t = 0,01$  мм.

НИИалмазом совместно с МЗКРС в заводских условиях проведена работа по плоскому и круглому шлифованию деталей машин из закаленных сталей. На плоскошлифовальном станке фирмы «Блом» обрабатывалась направляющая планка из стали ШХ15 твердостью HRC 59—62 алмазным кругом АПП зернистостью АС6 и АСМ28 на связках Б1, ТО2 и БЗ. Охлаждающей жидкостью был двухпроцентный водный раствор соды с добавлением 0,1 % нитрита натрия. Правка алмазных кругов производилась абразивными брусками КЗ 25—40 СМ2 К.

Шлифование осуществлялось при следующих режимах:

Скорость круга $v_k$ в м/сек . . . . .	35; 28; 22 и 15
Продольная подача стола $s_{np}$ в м/мин . . . . .	24; 18; 12 и 6
Глубина резания $t$ в мм . . . . .	0,005; 0,01 и 0,02
Поперечная подача стола $s_{non}$ в мм/ход . . . . .	0,3

Наилучшие результаты по шероховатости поверхности изделий и удельному расходу алмаза были получены при обработке деталей из стали ШХ15 кругом АС6 на связке ТО2. Шероховатость соответствовала 9в классу, удельный расход алмаза составил 17 мг/г. При скорости резания 30—35 м/сек на обработанной поверхности изделия наблюдается дробление, волнистость и прижоги.

При продольной подаче от 6 до 24 м/мин шероховатость обработанной поверхности изменяется мало и соответствует 10б классу. При продольной подаче 6 м/мин на

поверхности изделия наблюдались дробление и полосы. С увеличением продольной подачи увеличивается удельный расход алмаза.

С изменением глубины резания от 0,005 до 0,02 мм увеличиваются удельный расход алмазного круга и шероховатость обработанной поверхности.

На основании проведенной работы можно рекомендовать следующие режимы плоского шлифования деталей из закаленной стали ШХ15:

Скорость алмазного круга $v_k$ в м/сек . . . . .	15—22
Продольная скорость стола $s_{пр}$ в м/мин . . . . .	12—18
Подача на глубину резания $t$ в мм . . . . .	0,005—0,001
Поперечная подача $s_{поп}$ в мм/ход . . . . .	0,3—0,5

Работа по шлифованию круглых стальных изделий проводилась на круглошлифовальном станке фирмы «Шаудт». Обработывалась ответственная деталь координатно-расточного станка—шпиндельная гильза — из термообработанной стали 12ХМЗА. Длина гильзы составляла 500 мм, диаметр — 105 мм. Применялись алмазные круги АПП 300 × 15 × 75 АС6 и АСМ40 на связках Б1 и Т02 со 100-процентной концентрацией алмазов. В качестве охлаждающей жидкости использовались водные растворы:

- 1) с содержанием 2% соды и 0,1% нитрита натрия,
- 2) рекомендованный ВНИИАШем, содержащий 25 г нитрита натрия, 10 г олеиновой кислоты и 80 г триэтанол-амина на 10 л воды.

Правка алмазных кругов производилась абразивным кругом 100 × 32 × 20 К340 СМ2 К методом шлифования с охлаждением на следующих режимах:

Скорость алмазного круга $v_{a.к}$ в м/сек . . . . .	23
Скорость правящего круга $v_{п.к}$ в м/сек . . . . .	2,5
Продольная подача $s_{пр}$ в м/мин . . . . .	0,4
Подача на глубину $t$ в мм/дв. ход . . . . .	0,01

Наилучшие результаты по шероховатости поверхности и удельному расходу алмаза получены при скорости круга

АС6 Б1, равной 18 м/сек. Шероховатость поверхности соответствовала 9б и 9в классу. Удельный расход алмаза составил 4,9 мг/г стали. При скорости  $v = 30$  м/сек круг быстро засаливался, на поверхности изделия получились дробление, волнистость и прижоги.

Наилучшие результаты при шлифовании стали 12ХМ3А алмазными кругами АС6 на связке Б1 получены при следующих режимах:

Скорость вращения круга $v_k$	
в м/сек . . . . .	18
Скорость изделия $v_u$ в м/мин	7
Продольная подача $s_{пр}$ в м/мин	0,15
Подача на глубину $t$ в мм (на сторону) . . . . .	0,005

Эти режимы можно рекомендовать и для обработки деталей из других закаленных сталей, если требуется шероховатость поверхности не ниже 9-го класса.

Работа кругами АСМ40 на связке ТО2 производилась с охлаждением при скорости круга 23 м/сек на следующих режимах:

Окружная скорость изделия $v_u$ в м/мин . .	20; 28 и 39
Продольная подача стола $s_{пр}$ в м/мин . .	0,4; 0,7 и 1,0
Глубина резания $t$ в мм . . . . .	0,002; 0,004 и 0,006

При шлифовании шпиндельной гильзы из стали 12ХМ3А алмазным кругом АСМ40 на связке ТО2 получена стабильная шероховатость в пределах 11б и 11в класса. Отклонение по бочкообразности находилось в пределах 2—3 мкм, а по эллипсности — в пределах 1 мкм.

Наилучшие результаты были получены при скорости изделия 28 м/мин. Шероховатость соответствовала 11б и 11в классу, удельный расход алмаза составил 5,6 мг/г стали. При скорости изделия 39 м/мин происходит дробление, прижоги и волнистость.

С увеличением продольной подачи до 1,0 м/мин увеличивается удельный расход алмаза до 20 мг/г. При продольной подаче 0,4 м/мин он равнялся 5,6 мг/г стали.

Наибольшее влияние на удельный расход алмаза оказывает глубина резания. При подаче на глубину резания 0,002 мм удельный расход алмаза составляет в среднем



5,6  $\text{мг/г}$ , а при подаче 0,006  $\text{мм}$  — увеличивается до 30  $\text{мг/г}$ .

На основании проведенной работы можно рекомендовать следующие наиболее эффективные режимы при обработке стали 12ХМЗА алмазным кругом АСМ40 на связке TO2:

Скорость круга $v_k$ в $\text{м/сек}$	18—25
Скорость изделия $v_u$ в $\text{м/мин}$	20—28
Продольная подача $s_{np}$ в $\text{мм/мин}$ . . . . .	0,4—0,7
Глубина резания $t$ в $\text{мм}$ . .	0,002

Алмазный круг АСМ40 на связке TO2 со 100-процентной концентрацией может быть использован для чистового шлифования ответственных деталей машин из стали 12ХМЗА с применением смазывающе-охлаждающей жидкости.

При круглом и плоском шлифовании сталей нельзя применять режимы, при которых обрабатываются изделия из твердого сплава. Скорость круга при шлифовании сталей должна быть от 15 до 25  $\text{м/сек}$ , но не более.

Из опыта обработки твердых сплавов и легированных закаленных сталей можно сделать следующие основные выводы.

1. При обработке стальных изделий съем металла в единицу времени меньше в 2—3 раза по сравнению со съемом твердых сплавов.

2. Шероховатость поверхности изделий из сталей при обработке алмазными кругами соответствует 9—11-му классу, что вполне приемлемо для машиностроительных деталей.

3. Точность стальных изделий, обработанных алмазным инструментом, соответствует 1—2-му классу.

4. С увеличением окружной скорости шлифовального круга в диапазоне 20—45  $\text{м/сек}$  удельный расход алмаза уменьшается: при скорости круга 20  $\text{м/сек}$  он составлял 2,5  $\text{мг/г}$ , а при скорости 45  $\text{м/сек}$  (плоское шлифование стали Х12Ф1 алмазным кругом АС10 Б, 100%) — 0,85  $\text{мг/г}$ . Условием повышения скорости круга является жесткость станка и отсутствие вибрации.

5. Увеличение поперечной подачи приводит к увеличению усилия резания и, как следствие этого, к увеличенному расходу алмаза и снижению качества обработанной

поверхности. При плоском шлифовании стали марки P18 кругом AC6 B1, 50% при  $s_{\text{non}} = 0,3 \text{ мм/ход}$  расход алмаза составляет  $5 \text{ мг/г}$ , а при  $s_{\text{non}} = 0,9 \text{ мм/ход}$  —  $0,8 \text{ мг/г}$ .

6. С увеличением глубины шлифования вследствие увеличения толщины стружки и возрастания усилия резания повышается нагрузка на алмазные зерна и ухудшается качество обработанной поверхности. В частности, при плоском шлифовании стали P18 алмазным кругом AC12 B1 (200%) при  $v = 25 \text{ м/сек}$  и  $t = 0,01$  и  $0,03 \text{ мм}$  были получены следующие результаты: при  $t = 0,01 \text{ мм}$  расход алмаза  $q = 9 \text{ мг/г}$ , производительность  $Q = 0,15 \text{ г/мин}$ , шероховатость поверхности приближалась к 9в классу, а при  $t = 0,03 \text{ мм}$   $q = 12 \text{ мг/г}$ ,  $Q = 1,2 \text{ г/мин}$ , шероховатость поверхности соответствует 9а классу.

7. С увеличением концентрации алмазного круга удельный расход алмаза уменьшается. Так, при 50-процентной концентрации круга AC6 B1 удельный расход алмаза составляет  $11 \text{ мг/г}$ , а при концентрации 150% —  $8 \text{ мг/г}$  (при шлифовании стали марки X).

8. При выборе зернистости алмазного круга нужно учитывать требуемую шероховатость поверхности, припуск на обработку, вид шлифования. С уменьшением размера алмазных зерен при прочих равных условиях радиальная сила снижается, что может быть объяснено меньшими радиусами закругления и меньшими углами вершин зерен. Однако с уменьшением размеров зерен они изнашиваются быстрее.

9. Величины сил резания при плоском шлифовании инструментальных сталей зависят от основных параметров режима и условий шлифования, характеристики алмазного инструмента и физико-механических свойств обрабатываемого материала. Увеличение производительности шлифования приводит к почти пропорциональному возрастанию сил резания. При режимах шлифования с производительностью  $200 \text{ мм}^3/\text{мин}$  радиальная сила составляет обычно не более  $4\text{—}5 \text{ кг}$  для круга AC12 B1 (150%) и не более  $10\text{—}12 \text{ кг}$  для круга A16 M1 (100%). Тангенциальная составляющая при шлифовании сталей обычно в  $2,5\text{—}3,5$  раза меньше, чем радиальная. При работе кругами с более высокой концентрацией алмазов силы резания меньше (рис. 15). Для кругов AC12 B1 при 150-процентной концентрации силы резания в  $2\text{—}2,5$  раза меньше, чем для кругов с 50-процентной концентрацией.

10. Алмазные круги на органической связке предназначены для чистовых и доводочных операций. Шероховатость обработанной поверхности при применении кругов на бакелитовой связке соответствует 9—11-му классу.

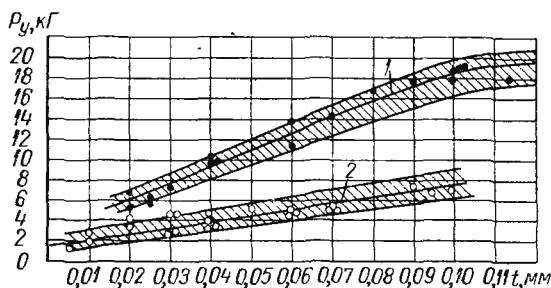


Рис. 15. График изменения радиальной составляющей силы резания  $P_y$  при шлифовании стали Р14Ф4 алмазными кругами на бакелитовой связке зернистостью 12 при различных концентрациях алмазного порошка и различных глубинах резания  $t$ :

1 — концентрация 50%; 2 — концентрация 150%

11. Практика заводов показывает, что алмазное шлифование необходимо и экономически целесообразно в тех случаях, когда надо получить изделия с большой точностью, высокими классами чистоты обработанной поверхности (10—12-й классы) и без дефектных слоев. Во всех других случаях выгодно применять шлифовальные круги из электрокорунда и карбида кремния. Оценка выгодности применения тех или иных шлифовальных кругов (при равных технических показателях) должна производиться по стоимости операций абразивной обработки.

## Глава V

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЛМАЗНОЙ ОБРАБОТКИ

## 12. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ШЛИФОВАНИЯ

Основными технологическими показателями шлифования являются:

1) производительность процесса обработки  $Q$ , выраженная в штуках выпускаемых изделий в единицу времени (*шт/мин*), в весовых или объемных единицах металла, снятого с поверхности изделия-заготовки в единицу времени (*г/мин* или *мм<sup>3</sup>/мин*);

2) износ алмазного круга  $q$ , выраженный в весовых или объемных единицах алмазоносного слоя, израсходованного на сьем 1 г обрабатываемого материала;

3) шероховатость обработанной поверхности  $R_a$ , выраженная в *мкм*;

4) мощность или энергоемкость процесса обработки  $W$ , выраженная в *вт*.

Одним из существенных критериев, позволяющих оценить эффективность использования алмазного инструмента, является его удельный износ, который оценивается количеством алмаза (*мг*), затрачиваемым на сьем 1 г шлифуемого материала.

Удельный весовой износ алмаза

$$q_1 = \frac{G_a}{G_m},$$

где  $G_a$  — вес алмаза, содержащегося в алмазоносном слое, в *мг*;  $G_m$  — вес снятого материала в *г*.

Удельный объемный сьем материала  $Q_v$  может быть выражен формулой

$$Q_v = \frac{V_m}{V_a},$$

где  $V_m$  — объем снятого материала в *мм<sup>3</sup>*;  $V_a$  — соответствующий объем изношенного алмазоносного слоя.

Между  $q_1$  и  $Q_v$  существует следующая зависимость:

$$q_1 = \frac{10\beta_a \gamma_a V_a}{\gamma_m V_m} = \frac{10\beta_a \gamma_a}{\gamma_m} \cdot \frac{1}{Q_v},$$

где  $\beta_a$  — содержание алмазного порошка в алмазоносном слое в вес. %;

$\gamma_m$  — плотность шлифуемого материала в г/см<sup>3</sup>;

$\gamma_a$  — плотность алмазного слоя, в г/см<sup>3</sup>.

Если известен объем изношенной части алмазоносного слоя  $V_a$ , то вес алмаза, содержащегося в этом слое, можно определить по формуле:

$$G_a = \frac{0,878 V_a}{\alpha_a},$$

где  $\alpha_a$  — коэффициент, учитывающий концентрацию алмазоносного слоя.

В табл. 26 дано содержание алмаза в алмазоносном слое кругов в зависимости от связки и концентрации, а в табл. 27 приведены значения коэффициента  $\alpha_a$  при различной концентрации алмазоносного слоя.

Таблица 26

**Содержание алмаза в алмазоносном слое в зависимости от связки и концентрации**

Связка	Содержание алмаза в алмазоносном слое (вес. %) при концентрации		Связка	Содержание алмаза в алмазоносном слое (вес. %) при концентрации	
	100%	50%		100%	50%
Органическая Б1	41,4	22,0	Металлическая М1	12,0	5,5
Органическая Б2	25,0	11,0	Металлическая М5	25,0	12,5
Ограниченная Б3	35,0	17,0	Керамическая К2	36,0	18,0

Основные технологические показатели при обработке твердых сплавов Т15К6 (площадь обработки 110 мм<sup>2</sup>) отечественными алмазными кругами (концентрация 100%) на металлической (зернистость 10—12) и органической (зернистость 8—10) связках даны в табл. 28. Обработка велась с охлаждением жидкостью (2 л/мин) на станке

Таблица 27

Значение коэффициента  $\alpha_a$ 

Концентрация в %	$\alpha_a$	Концентрация в %	$\alpha_a$
200	0,5	50	2,0
100	1,0	25	4,0

Таблица 28

## Основные технологические показатели работы алмазных кругов

Глубина резания, в мм	Технологические показатели при обработке кругами					
	на металлической связке			на органической связке		
	М1	М1	М5	Б1	Б2	Т02
Производительность в $Q$ в г/мин						
0,02	0,50	0,45	0,50	0,32	0,30	0,45
0,04	0,90	0,96	1,05	0,55	0,50	0,65
0,06	Засалива- ние	1,10	1,50	—	—	—
0,10		Засалива- ние	2,50	—	—	—
Износ круга $q$ в мг/г						
0,02	0,25	0,28	0,15	1,5	1,5	1,6
0,04	0,40	0,35	0,25	3,5	2,5	1,9
0,06	—	0,60	0,55	—	—	—
0,10	—	—	0,70	—	—	—
Класс шероховатости поверхности						
0,02	8—9			9—10		
0,04	8—9			9—10		
0,06	—	8		—		
0,10	—	—	8	—		
Примечание. Технологические показатели являются средними из трех испытаний.						

модели 3А64 при скорости круга 23 и 30 м/сек и продольной подаче 1 м/мин.

При расчетах показателей необходимо знать соотношение количества алмаза в круге  $G_a$  (мг) с его концентрацией  $K$  (%). Это соотношение определяется формулой

$$G_a = \frac{439}{10^7} KV,$$

где  $V$  — объем алмазоносного слоя.

За стопроцентную концентрацию принято содержание в 1 мм<sup>3</sup> алмазоносного слоя 0,878 мг или 0,00439 карата алмаза.

Из табл. 28 следует, что в данных условиях лучшими кругами с точки зрения производительности и износа являются:

1) для черновых и получерновых шлифовальных операций со снятием припуска в пределах 0,5—0,8 мм круги на металлических связках М5 и МИ;

2) для предварительных доводочных операций круги на органической связке ТО2;

В настоящее время в ряде случаев для шлифования твердых сплавов и сталей применяются круги на

Таблица 29

Технологические показатели работы отечественных и зарубежных алмазных кругов

№ круга	Характеристика круга	Фирма-поставщик	Производительность		Износ в мг/г	Класс шероховатости
			$Q$ в г/мин	$Q_v$ в мм <sup>3</sup> /мин		
1	АСП16—25, М1, 100%	Отечественная	1,0	65,0	0,70	7—8
2	АС16—25, М1, 100%	«Дженерал Электрик»	1,15	75,0	0,65	7—8
3	АС16—25, М1, 100%	«Де-Бирс»	1,20	80,0	0,30	7—8
4	А16—25, М1, 100%	Отечественная	1,15	75,0	0,35	7—8
5	АСО16, М1, 100%	Отечественная	0,80	50,0	1,0	7

Таблица 30

**Применение кругов на металлических и органических связках  
при обработке различных материалов**

Материал	Применение кругов на связках					
	M1	MI	M5	B1	B2	T02
Твердый сплав	+	+	+	+	+	+
Сталь	—	○	+	+	—	+
Твердый сплав + + сталь	—	—	○	○	—	○
Условные обозначения: + — безусловное применение; ○ — условное применение; — — не применяется.						

Таблица 31

**Применение кругов на металлических и органических связках  
при выполнении различных операций**

Операция	Применение кругов на связках					
	M1	MI	M5	B1	B2	T02
Круглое наружное шлифование	○	+	+	+	+	+
Круглое внутреннее шлифование	+	+	+	—	○	○
Плоское шлифование	○	○	+	○	○	○
Профильное шлифование	—	—	○	+	○	+
Заточка	+	+	+	○	○	○
Доводка	—	—	—	+	+	+



керамических связках, а также круги, полученные способом гальванопокрытий. Однако круги на керамических связках уступают в работе вышеуказанным кругам, а круги с гальванопокрытиями применяются при малых размерах или сложных профилях изделий.

В табл. 29 приведены технологические показатели работы кругов, изготовленных из различного алмазного порошка.

Из этой таблицы следует, что по производительности и шероховатости обработанной поверхности все круги, за исключением круга № 5, примерно равноценны, а по износу они различаются. Наименьший износ наблюдается в кругах № 3 и 4.

Данные о применении кругов на металлической и органической связках при обработке различных материалов и выполнении различных операций приведены в табл. 30 и 31.

### 13. ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЛМАЗНОЙ ОБРАБОТКИ

Эффективность обработки деталей и инструментов из твердых сплавов определяется следующими факторами:

1) повышением качества деталей и инструментов за счет уменьшения количества трещин, микротрещин, выкрашивания и пр.;

2) уменьшением шероховатости обработанных поверхностей, уменьшением наклепа, прижогов и других дефектов;

3) повышением износостойкости деталей и стойкости инструментов за счет лучшего качества обработанных поверхностей;

4) возможностью обработки высокопроизводительных металлорежущих инструментов из труднообрабатываемых марок твердого сплава (Т30К4, Т60К6 и др.);

5) снижением трудоемкости обработки деталей и инструментов из твердых сплавов;

6) расширением номенклатуры обрабатываемых материалов;

7) повышением производительности труда станочников и возможностью автоматизации и механизации процессов обработки.

По данным ряда заводов (ГАЗ, ЗИЛ, МЗМА и др.) расход твердых сплавов при алмазной обработке уменьшается на 20—30%.

Широкое применение алмазных кругов для обработки твердосплавного инструмента коренным образом меняет технологию обработки и дает большую экономическую эффективность.

## Глава VI

### ТЕХНОЛОГИЯ АЛМАЗНОЙ ОБРАБОТКИ И ТИПОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

В гл. I и V указывалось на основные преимущества, которые имеет алмазная обработка. Для инструмента, штампов и фильер эти преимущества прежде всего сказываются в надежности их работы и износостойкости.

Рациональное использование алмазной обработки определяется рядом факторов, к основным из которых относятся:

- 1) выбор и подготовка оборудования (см. гл. III);
- 2) выбор условий и режимов обработки (см. гл. IV);
- 3) подготовка изделий для обработки их алмазными инструментами;
- 4) выбор оптимальной технологической схемы обработки;
- 5) соблюдение некоторых специфических для алмазной обработки особенностей.

#### 14. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ДЕТАЛЯМ, И ВАРИАНТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ

В зависимости от типа и размера деталей, а также материала, из которого они изготовлены, технологических и конструктивных особенностей детали требования к методам алмазной обработки различны.

В случаях шлифования деталей с напаянным твердым сплавом они должны отвечать следующим основным условиям:

- 1) пластины твердого сплава должны выступать над корпусом, к которому они припаиваются, в среднем до 1 мм;
- 2) алмазный круг должен иметь выход с пластин твердого сплава на державку таким образом, чтобы он не задевал ее при обработке, так как в противном случае круг засаливается и процесс обработки прекращается;

3) припайка твердого сплава к державке должна осуществляться так, чтобы на поверхности не было следов припоя;

4) если в деталях имеется припой и пластины «утоплены» в корпусе державки, то перед алмазной обработкой припой необходимо предварительно шлифовать кругами из карбида кремния.

5) окончательное шлифование и доводку (особенно доводку твердосплавных деталей) необходимо осуществлять только по рабочим поверхностям, причем они должны быть минимальными.

Несколько отличные условия должны быть при обработке монолитных твердосплавных и стальных деталей, которые в основном сводятся к следующему:

1) основные геометрические параметры деталей должны быть выполнены на предыдущих операциях (твердосплавных — при спекании, стальных — при абразивной обработке);

2) твердосплавные детали не должны иметь заусенцев, раковин и других дефектов, а детали из быстрорежущей стали — прижогов;

3) детали, подвергающиеся алмазной обработке, должны иметь минимальные припуски: под черновое шлифование не более 0,5—0,8 мм, под чистовое шлифование не более 0,3—0,4 мм, под доводку не более 0,1 мм.

В каждом отдельном случае требования к изделию в связи с его алмазной обработкой могут быть более жесткими.

В соответствии с типоразмерами деталей и предъявляемыми к ним требованиями выбирается тот или иной технологический способ обработки.

На схеме 2 приведены варианты технологических способов обработки и восстановления твердосплавных деталей штампов. Ввиду ряда специфических особенностей этого вида инструмента (сложность контура, глухие углубления и отверстия и т. д.) технология его обработки довольно сложна.

При обработке деталей штампов ранее пользовались основным способом 2 или его разновидностью — способом 1. Эти способы основаны на применении абразивных порошков (при ультразвуковой обработке) и электроискрового метода (при предварительной обработке профиля). Однако эти способы обработки, а также способ 5



Схема 2. Варианты технологических способов обработки и восстановления деталей штампов.

малопроизводительны и не обеспечивают необходимой точности и шероховатости поверхности.

С применением в промышленности алмазов были разработаны новые способы обработки различных машиностроительных изделий (прессформ, фильер и т. д.).

Способ 3 основан на использовании алмазных кругов для плоского и круглого шлифования, а также для окончательной обработки профиля. Предварительная обработка профиля по этому способу осуществляется электроискровым методом.

Более совершенными способами являются способ 6, основанный на применении только алмазного инструмента, и комбинированный способ 4, по которому предварительная обработка профиля осуществляется электроискровым методом, а окончательная — алмазным.

Однако приведенные способы обработки являются многооперационными, и их следует упрощать. Одновременно с ними в промышленность внедряется способ 7, предусматривающий две операции: алмазное шлифование и алмазное профилирование.

Как показали практика и расчеты, способы обработки, связанные с применением алмазов, уменьшают себестоимость выпускаемых изделий и обеспечивают им необходимые шероховатость и точность обработки.

В приложениях 1—4 приведены типовые технологические процессы обработки штампов и фильер алмазными инструментами.

## 15. ПОДГОТОВКА АЛМАЗНЫХ КРУГОВ К РАБОТЕ И УСЛОВИЯ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Поступающие с завода-изготовителя круги должны быть «вскрыты», т. е. верхняя часть алмазоносного слоя должна быть удалена таким образом, чтобы алмазные зерна выступали из связки (это особенно важно для кругов на металлической связке); круги не должны иметь радиального биения больше 0,005—0,01 мм в зависимости от зернистости.

Вскрытие алмазоносного слоя и выведение биения осуществляется обработкой абразивными брусками, обкаткой или шлифованием (последнее наиболее производительно и осуществляется с помощью абразивных кругов). Характеристика правящего абразивного инструмента следующая: КЗ 40—25 СМ2—СМ1 К9.

Все круги диаметром свыше 100 мм, собранные с планшайбами, рекомендуется подвергать статической балансировке. Круги диаметром свыше 200 мм следует устанавливать на планшайбах, имеющих балансировочные сухари. Установленные и закрепленные на шпинделе станка круги ограждаются защитными кожухами.

При шлифовании и доводке необходимо соблюдать правила, приведенные в технологических картах (см. приложения 1—4).

При круглом наружном и плоском шлифовании обработку надо вести более широкими кругами; закрепление изделий на плите и в центрах должно быть без прогибов и параллельно рабочей поверхности.

При правильной эксплуатации алмазных кругов, изготовленных в соответствии с технологическими требованиями, в большинстве случаев правки не требуется.

Правку кругов производят только при засорении поверхности алмазоносного слоя, приводящем к завалам режущих кромок обрабатываемого инструмента или изделия, и для восстановления формы профильных кругов.

Засорение рабочей поверхности алмазного круга частицами металла происходит в следующих случаях:

- 1) при шлифовании с чрезмерно высокими окружными скоростями круга (у кругов на металлической связке);
- 2) при обработке без охлаждения;
- 3) при одновременной обработке твердого сплава и стального корпуса.

Правку алмазных кругов на органической связке следует производить мягкими абразивными брусками или кругами из карбида кремния на керамической связке зернистостью 16—8 (в зависимости от зернистости алмазного круга), твердостью СМ2—СМ1 при скорости шлифовального круга 15—25 м/сек.

Правку алмазных кругов на металлической связке следует производить методом шлифования (желательно с охлаждением) абразивными кругами на керамической связке из карбида кремния зеленого или электрокорунда белого зернистостью 40—25 и твердостью СМ2—СМ1 или брусками из карбида кремния зеленого на керамической связке зернистостью 40—25, твердостью СТ1—СТ2.

Режимы шлифования абразивными кругами должны быть следующие:

Скорость алмазного круга в <i>м/сек</i> . . . . .	Рабочая
Скорость правящего круга в <i>м/сек</i> . . . . .	25
Продольная подача в <i>м/мин</i> . . . . .	1,5—2,0
Поперечная подача в <i>мм/дв. ход</i> . . . . .	0,02—0,04

Алмазные круги чашечной и тарельчатой формы можно править методом притирки на чугунных или стеклянных плитах порошками карбида кремния.

Чистка алмазных кругов осуществляется пемзой или брусками из электрокорунда белого на керамической связке зернистостью 16—12, твердостью СМ2 при жестком креплении правящего инструмента в тисках или специальных приспособлениях. Круги на металлической связке при сильном загрязнении рабочей поверхности металлом связки иногда очищают химическим методом.

Окислы металлов удаляются с кругов в разбавленной азотной кислоте. В этом случае 50 *мл*  $\text{HNO}_3$  с удельным весом 1,38 разбавляют 1 *л* воды и в этом растворе держат алмазный круг до снятия окислов металла, после чего в течение 1—2 *мин* производят нейтрализацию поверхности круга в растворе, состоящем из 50 *мл*  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 100 *г*  $\text{NaNO}_2$  и 1 *л* воды.



## Глава VII

### НОВОЕ В РАЗВИТИИ АЛМАЗНОЙ ОБРАБОТКИ

Появление и применение новых способов обработки вызывается необходимостью решения следующих основных задач:

- 1) увеличения производительности обработки по сравнению со способами, существующими в промышленности;
- 2) уменьшения расхода алмаза;
- 3) улучшения качества обработки с точки зрения как шероховатости, так и дефектных слоев обработанной поверхности;
- 4) уменьшения трудоемкости и себестоимости выполнения операции.

Новые способы обработки, приведенные ниже, решают вышеуказанные задачи и успешно внедряются в промышленность.

#### 16. ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОБРАБОТКИ

Этот способ возник в связи с применением алмазов в технике и необходимостью уменьшения их расхода при выполнении отделочных операций. Он является усовершенствованием ряда существовавших до него способов: анодно-механического (1942 г.); электрохимикомеханического (1954—1955 гг.) и электроабразивного (1956—1957 гг.). Этот способ увеличивает производительность обработки в 2—3 раза и создает вполне качественно обработанную поверхность с высокой чистотой (10—9-й класс) и без дефектных слоев. Он применяется при плоском шлифовании, заточке и доводке твердых сплавов и сталей, также при хонинговании и внутреннем круглом шлифовании.

На рис. 16 приведены принципиальная электрическая и кинематическая схемы электролитического способа шлифования. Сущность этого способа заключается в одновременном воздействии на обрабатываемую поверхность абразивного инструмента и электрохимических факторов,

возникающих в среде электролита в момент прохождения электрического тока через деталь и инструмент. Обрабатываемое изделие присоединяется к положительному, а обрабатывающий инструмент — к отрицательному полюсу источника тока.

При шлифовании, заточке и доводке для увеличения электропроводности в качестве инструмента применяются

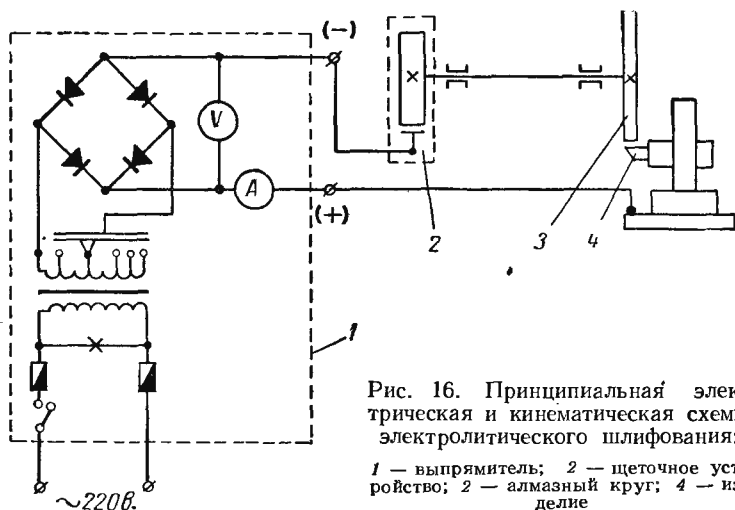


Рис. 16. Принципиальная электрическая и кинематическая схемы электролитического шлифования:

1 — выпрямитель; 2 — щеточное устройство; 3 — алмазный круг; 4 — изделие

абразивные круги (в том числе и алмазные) на металлической связке, а при хонинговании — хонинговальные бруски из тех же материалов.

Основная работа при электролитическом способе падает на электрохимические процессы, в связи с чем расход энергии постоянного тока значительно выше расхода энергии переменного тока.

На рис. 17 приведен график расхода электроэнергии постоянного и переменного тока при обработке электролитическим способом твердосплавных и стальных деталей. Обработка велась кругами АЧК 10 М1, 100% при  $v = 28$  м/сек;  $s_{np} = 1,5$  м/мин;  $p = 4,5$  кГ/см<sup>2</sup>;  $U = 5$  в;  $I = 60$  а/см<sup>2</sup>;  $T = 5$  мин.

В качестве оборудования при шлифовальных и заточных работах применяются модернизированные станки различных моделей или станки, специально предназначен-

ные для этой цели (см. табл. 20). Модернизация существующего оборудования сводится к следующему:

1) шпиндель станка через токосъемное кольцо и медно-графитовые щетки соединяется с отрицательным полюсом источника тока, а стол станка или приспособление — с положительным;

2) устанавливается бак для рабочей жидкости с отстойником, электронасосом и трубопроводом, а также специальное ограждение, предохраняющее станок и рабочего от брызг жидкости;

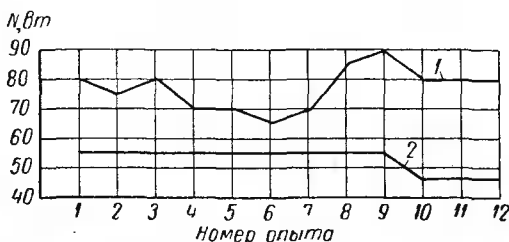


Рис. 17. Расход энергии  $N$  при обработке твердых сплавов ВК8 и стали У7 электролитическим шлифованием:

1 — постоянный ток; 2 — переменный ток

3) монтируется электрическая часть, включающая в себя пульт управления с контрольно-измерительной и защитной аппаратурой;

4) устанавливается выпрямитель или генератор, обеспечивающий на выходе напряжение 6—12 в и силу тока 500—600 а.

В качестве источника постоянного тока могут быть рекомендованы: выпрямители ВАГГ-12/600, ВАС-600/300 (напряжение 12 и 24 в) и ВАКТ-12,6; кремниевые силовые вентили типа ВГВ-200 и ВГВ-500, германиевые силовые вентили типа ГВВ-200, а при обработке деталей с большой площадью контакта целесообразно применять низковольтные генераторы постоянного тока АНДМ-1500/750 и НД 1000/500 (напряжение на выходе — 6—12 в, плотность тока — до 100 а/см<sup>2</sup>, вольтамперная характеристика — жесткая).

Желательно, чтобы выпрямитель имел систему автоматического регулирования технологического тока с целью

получения одинаковой плотности тока при различных площадях обработки дистанционное управление. Принципиальная схема выпрямителя показана на рис. 18.

На рис. 19 приведена схема электролитического хонингования. Исследования и практика электролитической обработки показали, что производительность обработки при

различных электролитах идет по-разному (рис. 20). Обработка велась кругами АЧК 20 М1, 100% при  $v = 30$  м/сек;  $p = 5$  кГ/см<sup>2</sup>;  $U = 5-6$  в;  $I = 24-26$  а/см<sup>2</sup>.

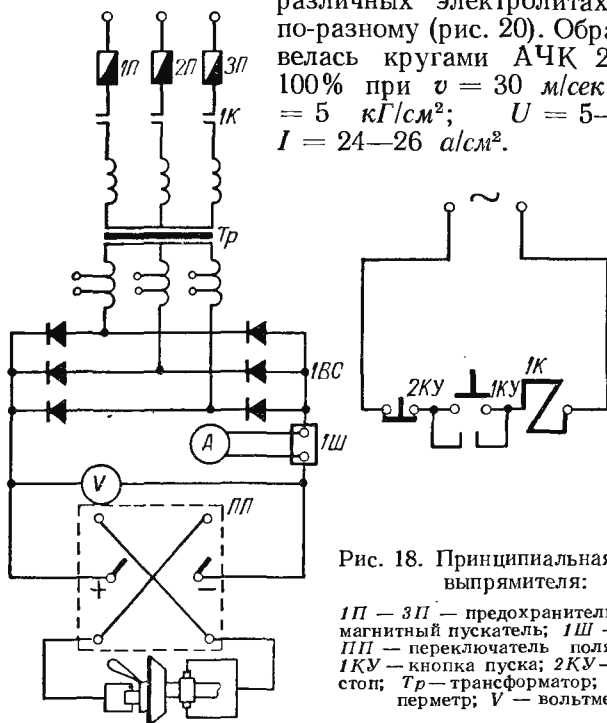


Рис. 18. Принципиальная схема выпрямителя:

1П — 3П — предохранители; 1К — магнитный пускатель; 1Ш — шунт; ПП — переключатель полярности; 1КУ — кнопка пуска; 2КУ — кнопка стоп; Tr — трансформатор; А — амперметр; V — вольтметр

Лучшим электролитом является раствор  $KNO_3$  с добавками нитрита натрия или фтористого натрия. Оптимальными режимами при шлифовании являются следующие:  $v = 30-40$  м/сек;  $s_{np} = 1,0-1,5$  м/мин;  $p = 3-5$  кГ/см<sup>2</sup>;  $U = 8-10$  в;  $I = 20-40$  а/см<sup>2</sup>.

Круги и бруски из абразивных порошков могут быть на металлической и бакелитовой связке с графитовым наполнителем. Лучшими инструментами для электролитической обработки являются инструменты на металлических связках (М1, МИ, М5 и др.).

При электролитической обработке искусственный и естественный алмазы работают одинаково, и это, в конечном счете, делает экономически выгодным использование искусственных алмазов.

Лучшей обрабатываемостью обладают изделия, изготовленные только из твердого сплава. Несколько хуже (меньшая производительность и большой износ обрабатывающего инструмента) идет обработка биметаллов (твердый сплав + сталь). Менее эффективна электролитическая обработка сталей, однако по сравнению с обычной алмазной обработкой (шлифованием, доводкой, хонингованием) она дает значительно лучшие показатели и может практически применяться даже при обработке труднообрабатываемых металлов и сплавов.

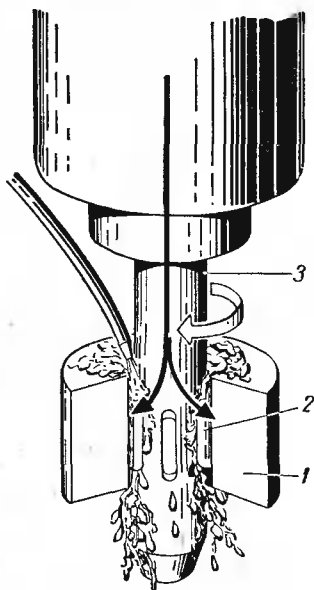


Рис. 19. Схема электролитического хонингования:

1 — изделие; 2 — хонинговальные брусочки; 3 — шпиндель

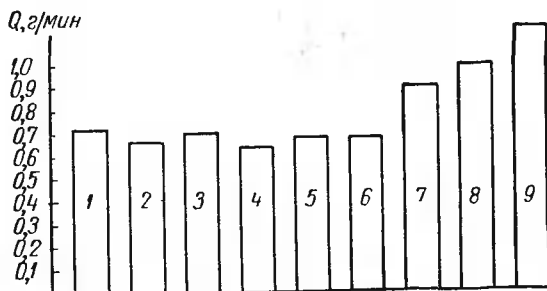


Рис. 20. Производительность обработки  $Q$  при электролитическом шлифовании твердого сплава ВК8 в пятипроцентном растворе:

1 —  $\text{NaNO}_3$ ; 2 —  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ; 3 —  $\text{NaCO}_3$ ; 4 —  $\text{NaCl}$ ; 5 —  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ; 6 —  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; 7 —  $\text{KNO}_3$ ; 8 —  $\text{KNO}_3$  с добавкой 3%  $\text{NaNO}_2$ ; 9 —  $\text{KNO}_3$  с добавками 5%  $\text{NaF}$  и 0,3%  $\text{NaNO}_2$

## 17. ШЛИФОВАНИЕ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Развитие новых отраслей техники, связанных с применением высоких температур и давлений, высоких скоростей, больших механических напряжений, а также различных химически активных агентов и радиоактивных излучений обусловило применение новых материалов и высоколегированных сплавов.

Известно, что жаропрочные сплавы на основе железа способны выдерживать работу при температурах не выше  $800^{\circ}\text{C}$ . Сплавы на основе хрома, никеля и кобальта обладают жаропрочностью порядка  $1000^{\circ}\text{C}$ . Для получения материалов, способных работать при более высоких температурах (свыше  $1000^{\circ}\text{C}$ ), в настоящее время широко применяются тугоплавкие металлы и сплавы.

К тугоплавким металлам относятся четыре металла V и VI группы периодической системы Менделеева: ниобий (Nb), молибден (Mo) тантал (Ta) и вольфрам (W). Исключительно высокими антикоррозийными свойствами обладают сплавы на основе титана. Некоторые из них противостоят действию кипящих кислот под высоким давлением. В течение непродолжительного времени эти сплавы способны работать при высоких температурах и напряжениях.

Присутствие алюминия в сплавах на основе железа обеспечивает длительную прочность при высокой температуре, снижает удельный вес сплава, уменьшает склонность к охрупчиванию под напряжением.

Были проведены работы по шлифованию некоторых из труднообрабатываемых сплавов (ЭИ418 и др.) и шлифованию составляющих этих сплавов (титана, молибдена, вольфрама) алмазными кругами на органических (Б1 и Б2) и металлических (М1 и М5) связках. Результаты по шлифованию вышеуказанных материалов приведены на рис. 21. Обработка велась с охлаждением трехпроцентным содовым раствором при  $v_k = 23 \text{ м/сек}$ ;  $s_{np} = 1,5\text{—}2,0 \text{ м/мин}$ ;  $s_{non} = 0,02 \text{ мм/дв. ход}$ .

На основании проведенной работы можно сделать следующие основные выводы:

1) алмазные круги на органических связках имеют несравненно больший износ алмазоносного слоя, чем круги на металлических связках;

2) круги на органических связках Б1 и Б2 изнашиваются до 900  $\text{мг/г}$ , однако алмазоносный слой все время остается чистым, с хорошей режущей способностью;

3) круги на металлических связках М1 и М5 для шлифования труднообрабатываемых материалов практически непригодны, так как засаливаются через 0,5—1,0 мин, причем чем меньше атомный вес материала, тем хуже он шлифуется; круги на связке М1 по сравнению с кругами на связке М5 засаливаются интенсивнее.

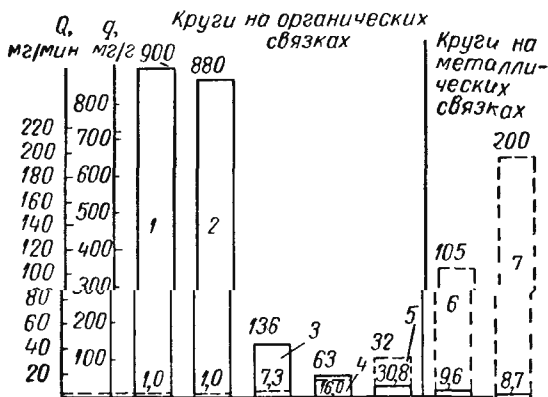


Рис. 21. Производительность  $Q$  и износ алмазных кругов  $q$  при обработке различных материалов:

— — — — — износ круга; — — — — — производительность обработки:  
 1 — тантала; 2 и 6 — молибдена; 3 и 7 — вольфрама; 4 — стали ЭИ418;  
 5 — стали 45

При шлифовании сталей алмазные круги показали себя следующим образом: чем меньше твердость стали и чем меньше компонентов входит в ее состав, тем интенсивнее теряют режущую способность круги на металлической связке. Следовательно, при обработке таких материалов, как ниобий, молибден, титан, вольфрам и никель, алмазными кругами лучше применять круги на органических связках.

При электролитическом шлифовании труднообрабатываемых материалов возможно снижение расхода алмазного инструмента до 10 раз и более.

До последнего времени основным инструментом при обработке таких материалов, как жаропрочные, тугоплавкие и титановые сплавы и стали являлись круги из

электрокорунда и карбида кремния. Эти круги при шлифовании (особенно сложного профиля) быстро теряют размер и профиль, засаливаются и поэтому требуют частой правки, что усложняет и удорожает технологический процесс.

В настоящее время при шлифовании сплавов и сталей ЭИ437Б, ЭИ481, ЖС6КП, ВТ2, ВТ3—1, 18ХНВА и ЭИ651 начато широкое опробование кругов из естественных алмазов зернистостью А25—А10 на органических (Б1, Б2 и ТО2) и керамических связках при концентрации алмазов 100%. Обработка ведется на плоскошлифовальных станках при  $v_k = 15—35$  м/сек;  $s_{np} = 6$  м/мин;  $s_{nop} = 1,5$  мм/ход;  $t = 0,005—0,01$  мм.

Таблица 31

## Режимы шлифования алмазными кругами

Связка круга	Окружная скорость круга $v_{кр}$ в м/сек	Продольная подача $s_{np}$ в м/мин	Поперечная подача $s_{nop}$ в мм/ход	Глубина шлифования $t$ в мм
К1	30—35	6—10	0,6—1,0	0,005—0,01
Б1	25—30	6—10	0,6—1,5	0,005

Шлифование осуществляется с охлаждением жидкостью следующего химического состава (на 10 л воды):

Тринатрийфосфат . . . . .	60
Тетроборинокислый натрий . . . .	30
Углекислый натрий . . . . .	29
Азотнокислый натрий . . . . .	10
Вазелиновое масло . . . . .	5

При шлифовании сплавов и сталей установлено, что удельная производительность кругов на различных связках, а также удельный расход алмаза неодинаковы. Так, например, наименьшую удельную производительность (до 0,065 г/мин) показывают алмазные круги АС16 на керамической связке К1 при удельном расходе алмаза от 12,7 до 19 мг/г и шероховатости обработанной поверхности в пределах 8—9-го класса.

Удельный расход алмаза для кругов на бакелитовой связке Б1 в зависимости от обрабатываемых материалов колеблется в пределах от 7,7 до 35 мг/г при удельной производительности от 0,085 до 0,207 г/мин. Шероховатость обработанной поверхности соответствует 8-му классу.



С увеличением зернистости от 6 до 16 удельный расход алмаза значительно снижается.

У кругов из естественных алмазов при такой же производительности, что и у кругов из синтетических алмазов на бакелитовой связке, наблюдается наименьший удельный расход алмаза (от 0,4 до 4,1 мг/г)

Сравнение эффективности алмазного и абразивного шлифования жаропрочных сталей и сплавов показывают, что при алмазном шлифовании стоимость обработки выше, чем при обработке кругами из электрокорунда или карбида кремния. Однако точность обработки при шлифовании жаропрочных, тугоплавких и титановых сплавов и сталей алмазными кругами выше.

Алмазные круги для обработки вышеуказанных сплавов и сталей следует применять только при незначительном припуске и высокой точности обрабатываемых деталей. В табл. 31 приведены рекомендуемые режимы шлифования алмазными кругами.

## 18. НОВЫЙ АБРАЗИВНЫЙ МАТЕРИАЛ

Трудности обработки ряда сплавов и сталей вызывают необходимость разработки новых абразивных средств, которые могли бы работать при таких условиях, когда естественные и синтетические алмазы работать не могут. Основной недостаток алмазов — это сравнительно низкая температурная устойчивость.

Одним из материалов, решающих эту проблему, является эльбор (кубический нитрид бора). Эльбор имеет кристаллическую решетку почти с теми же параметрами, как и у алмаза. Это обуславливает его твердость, близкую к твердости алмаза, в то время как температурная устойчивость эльбора значительно выше. Он не теряет своих свойств при нагреве до 1500—1600° С.

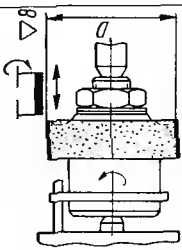
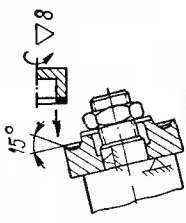
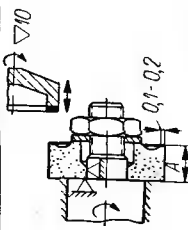
В настоящее время некоторыми предприятиями из эльбора изготавливается инструмент (круги и бруски) на различных органических связках. Шлифование этим инструментом показало, что новый материал с успехом может быть использован при чистовой обработке сталей. При этом производительность увеличивается на 25—30%, износ кругов уменьшается примерно на 50%, шероховатость обработанной поверхности соответствует 9—10-му классу. Продолжаются работы по эффективному использованию

эльбора на операциях шлифования труднообрабатываемых сталей и сплавов.

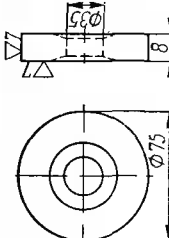
Разработан новый высокопроизводительный технологический способ изготовления синтетических алмазов, обеспечивающий превращение графита в алмаз без использования металлических кристаллизаторов. Процесс превращения продолжается в течение нескольких тысячных долей секунды и осуществляется в аппаратах, рассчитанных на сверхвысокое давление (до  $2,1 \cdot 10^5$  кГ/см<sup>2</sup>) и высокую температуру (около 5000° С), которые примерно в три раза выше соответствующих величин при обычном методе изготовления синтетических алмазов в присутствии металлического катализатора. Температура и давление в аппаратах регулируются. Согласно данным, алмазы, изготовленные новым технологическим процессом, представляют собой мелкие прозрачные кристаллы.

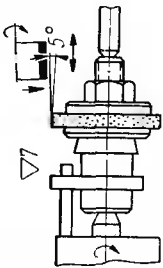
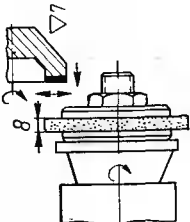
Новый процесс при использовании в качестве исходного сырья смеси графита с бором позволяет также получать токопроводящие алмазы. Появление первых алмазных кристаллов из твердого графита имеет место при давлении  $1,48 \cdot 10^5$  кГ/см<sup>2</sup> и температуре 3000°. При более высоких давлениях для образования алмаза требуется температура около 3800° С, причем в этих условиях графит расплавляется и алмазы образуются из расплавленной массы при охлаждении.

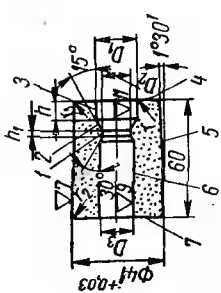
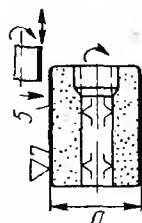
93

№ операции	Операция	Эскиз	Ста- нок	Характеристика алмазного круга	Режим обработки					Охлаждающая жидкость
					Скорость		Подача			
					Детали в м/мин	Круга в м/сек	на глы- бинный ре- зание в мм	продоль- ная в м/мин	попереч- ная в мм	
2	Шлифовать встав- ку до $\varnothing D$		Круглошлифовальный модели 312М завода ИМ. Ильича	АПП 250×10×127 АС12 М, 100%	15	30	0,015	1,0	0,015	Эмульсия
3	Шлифовать вну- тренний конус на передней поверх- ности под углом 15°						0,02	—	0,02	Без охлаждения
4	Шлифовать пе- реднюю поверх- ность, выдержав размер А				25—35	35	0,01	—	0,01	Без охлаждения

## Приложение 2

Типовой технологический процесс алмазной обработки			Наименование изделия		Карта № 2					
			Диски терморежундовые							
№ операции	Операция	Эскиз	Ста- нок	Характеристика алмазного круга	Режим обработки					
					Скорость		Подача			
					Детали в м/мин	Круга в м/сек	на глы- занны в мм	продоль- ная в м/мин	попереч- ная в мм	Охлаждающая жидкость
1	Шлифовать диск до $\varnothing D=75$ мм		Универсальный круг- лошлифовальный моде- ли 312М завода им. Ильича	АПП 250×20×127 AC12 М, 100%	25—30	20—25	0,02	1—1,5	0,02	Эмульсия

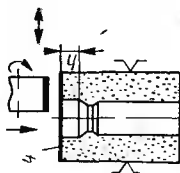
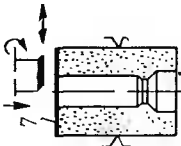
№ операции	Операция	Эскиз	Ста- нок	Характеристика алмазного круга	Режим обработки					Охлаждающая жидкость
					Скорость		Подача			
					детали в м/мин	крута в м/сек	на гру- бину ре- зания в мм	подроб- ная в м/мин	попереч- ная в мм	
2	Шлифовать диск на конус под уг- лом 5°		Универсальный круглошлифовальный моделин 312М завода им. Ильича	АПП 250×20×127 АС12 М, 100%	25—30	20—25	0,01	1,0— 1,5	0,01	Эмульсия
3	Шлифовать торец с одной стороны, выдержав ширину 8 мм				30	20—25	0,01	—	0,01	

Типовой технологический процесс алмазной обработки			Наименование изделия		Карта № 3					
			Твердосплавная вставка							
			Материал	Марка	Твердость HRA	Бение в мм				
			Твердый сплав	ВК15; ВК20	89—91	0,01				
№ операции	Операция	Эскиз	Станок	Характеристика алмазного круга	Режим обработки		Охлаждающая жидкость			
					Скорость	Подача				
					Детали в м/мин	Крута в м/сек	на глубину резания в мм	продольная в м/мин	поперечная в мм	
1	Шлифовать по- верхность 5 до $\varnothing D = 41 \pm 0,03$ мм		Круглошли- фовальный модели 3110M	АП 300×30×75 AC12 M, 100%	20—25	15—20	0,03	3	0,03	Специальный раствор (ОП 39—1—57)

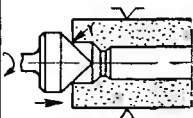
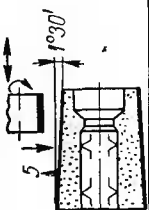
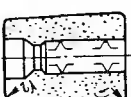




## Продолжение прилож. 3

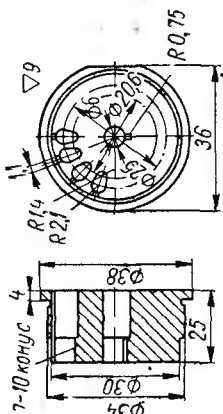
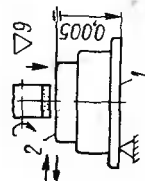
№ операции	Операция	Эскиз	Станок	Характеристика алмазного круга	Режим обработки					Охлаждающая жидкость
					Скорость		Подача			
					детали в м/мин	крута в м/сек	на глубину резания в мм	продольная в м/мин	поперечная в мм	
5	Шлифовать поверхность 4, выдержав размер $h$		Плоскошлифовальный модели 3701	АПП 300×30×75 АС12 М, 100%	—	20—25	0,05	6,0	0,5	
6	Шлифовать поверхность 7 начисто				—	20—25	0,05	6,0	0,05	

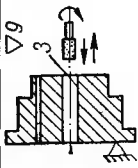
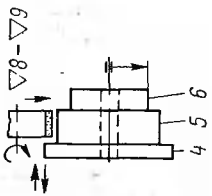
Продолжение прилож. 3

№ операции	Операция	Эскиз	Станок	Характеристика алмазного круга	Режим обработки					Охлаждающая жидкость	
					Скорость		Подача				
					детали в м/мин	круга в м/сек	на глубину резания в мм	поверхность в м/мин	поперечная в мм		
7	Закруглить $r = 0,5 \text{ мм}$		Сверлильный	АГЦ $\nless 90^\circ$ АС10 — АС8 М, 100%	Вручную	—	—	—	—	—	
8	Шлифовать поверхность $\delta$ на конус под углом $1^\circ 30'$ , обеспечить натяг при запрессовке в корпус матрицы		Круглошлифовальный модели 3110М	АПП 300×30×75 АС12 М, 100%	—	25	30—35	0,03	0,5	0,03	Специальный раствор (ОП 39—1—57)
9	Закруглить $r_1 = r_2 = 1 \text{ мм}$		—	—	Вручную	—	—	—	—	—	—

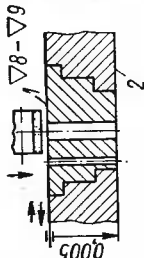
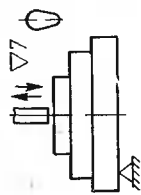
\* Количество проходов.

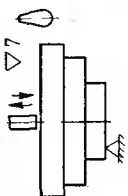
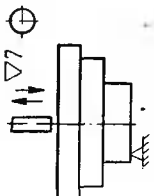
\* Количество проходов.

Типовой технологический процесс алмазной обработки			Наименование изделия		Карта № 4				
			Матрица цельная роторная						
			Материал	Марка	Твердость HRA	Биение в мм			
			Твердый сплав	ВК15; ВК20	85—90	—			
№ операции	Операция	Эскиз	Станок	Характеристика алмазного круга	Режим обработки			Охлаждающая жидкость	
					Скорость		Подача		
					Детали в м/мин	Круга в м/сек	на глубину реза в мм	поперечная в мм	Трехпроцентная эмульсия
1	Шлифовать поверхность 1 «как чисто»		Плоскошлифовальный модели 3Б71М	АПП 200×10×75 АС6 — АС5 В, 100%	30	—	0,01 Последние два прохода 0,01	12 6 0,5	
2	Шлифовать поверхность 2 «как чисто»				30	—	0,01 Последние два прохода 0,01	12 6 0,5	2

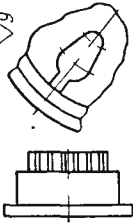
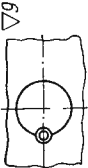
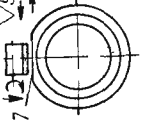
№ операции	Операция	Эскиз	Станок	Характеристика алмазного круга	Режим обработки					Охлаждающая жидкость
					Скорость		Подача			
					Детали в м/мин	Крута в м/сек	на глубину резания в мм	поперечная в мм/мин	поперечная в мм	
3	Шлифовать поверхность 3 до $\varnothing 6,0$ мм		Внутришлифовальный модели 3А227	АПП 5×6×2 АС10 М5, 100%	20	10	0,005	1,0	—	
4	Шлифовать поверхность 4 до $\varnothing 38$ мм		Круглошлифовальный модели 3110	АПП 200×10×75 АС10 — АС12 М5, 100%	30	20—30	0,02, выхаживание на каждый двойной ход	0,5	—	
5	Шлифовать поверхность 5 до $\varnothing 34$ мм				30	20—30	0,05 в 1 мин врезание	—	—	
6	Шлифовать поверхность 6 до $\varnothing 30$ мм				30	20—30	0,04 в 1 мин врезание	—	—	

## Продолжение прилож. 4

№ операции	Операция	Эскиз	Станок	Характеристика алмазного круга	Режим обработки						Охлаждающая жидкость
					Скорость		Подача				
					детали в м/мин	крута в м/сек	на глубину резания в мм	продольная в м/мин	поперечная в мм		
7	Установить матрицу в технологическую обойму	—	Верстак слесарный	—	—	—	—	—	—	—	—
8	Шлифовать поверхности 1 и 2 заплodицо с облоймой		Плоскошлифовальный модели ЗБ71М	АПП 200×10×75 АС6 — АС5 Б1, 100%	30	—	—	0,01	12	2	Трехпроцентная эмульсия
9	Электронскровая обработка (прошивки) профильных пазов рабочей части		Электронскровой станок модели ЛКЗ-18	Электрод-меднографит	—	—	—	—	—	0,001 в 1 сек	Трансформаторное масло

№ операции	Операция	Эскиз	Станок	Характеристика алмазного круга	Режим обработки						Охлаждающая жидкость
					Скорость		Подача		поперечная в мм	Трансформаторное масло	
					детали в м/мин	крута в м/сек	на глубину резания в мм	подача в м/мин			
10	Электроискровая обработка (прошивка) профильных пазов профильной части		Электроискровой станок модели ЛКЗ-18	Электрод-меднографит	—	—	—	—	—	0,001 в 1 сек	Трансформаторное масло
11	Электроискровая обработка профильной части центрального отверстия				—	—	—	—	—	0,001 в 1 сек	Трансформаторное масло

## Продолжение прилож. 4

№ операции	Операция	Эскиз	Станок	Характеристика алмазного круга	Режим обработки					Охлаждающая жидкость
					Скорость		Подача			
					детали в м/мин	крута в м/сек	на глубину резания в мм	продольная в м/мин	поперечная в мм	
12	Прорезка профильных пазов матрицы		Верстак слесарный	Алмазная паста АСМ40; АСМ20			Вручную		—	—
13	Прорезка R = 0,75 мм в центральном отверстии		Верстак слесарный, установка ЗУМД	Алмазный иод-филь диаметром 1,5 с гальваническим закреплением алмаза АС5 — АС4			Вручную		—	—
14	Шлифовать поверхность 7 в размер 36 мм		Плоскошлифовальный модели 3Б71М	АПП 200×10×75 АС6 Б1, 100%	30	—	0,05 на двойной ход	6	Врезанием	Препроцентная

## ЛИТЕРАТУРА

1. Каминский М. Е. и др. Рациональная эксплуатация алмазного инструмента. М., изд-во «Машиностроение», 1965.
2. Каратыгин А. М. и Коршунов Б. С. Заточка и доводка режущего инструмента, М. Машгиз, 1963.
3. Краткий справочник металлиста. Разд. IX. Под ред. проф. А. Н. Малова, М, изд-во «Машиностроение», 1965.
4. Резников А. Н. Алмазные режущие инструменты. Куйбышевское книжное изд-во, 1964.
5. Миндлин Я. Б. Алмазы в технике, М., изд-во «Знание», 1960.
6. Коршунов Б. С. Алмазная обработка режущего инструмента. М., НИИалмаз, 1963.
7. Алмазные инструменты в машиностроении. Лениздат, 1965.
8. Несмелов А. Ф. Алмазные инструменты в промышленности. М., изд-во «Машиностроение», 1964.
9. Коршунов Б. С. Обработка твердосплавного режущего инструмента алмазными кругами. — Алмазные инструменты. Под ред. Л. К. Петросяна. М., Машгиз, 1962 (НИИалмаз).
10. Вероман В. Ю. Электроалмазное шлифование. Лениздат, 1965.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
<b>Глава I. Алмазы и область их применения</b> . . . . .	<b>5</b>
1. Характеристика и свойства алмазов . . . . .	—
2. Область применения алмазов и алмазного инструмента . . . . .	11
<b>Глава II. Алмазный инструмент для шлифования и доводки</b> . . . . .	<b>16</b>
3. Алмазные круги и их назначение . . . . .	—
4. Шлифовальные головки, надфили, бруски и их назначение . . . . .	30
5. Алмазные пасты и их применение . . . . .	34
<b>Глава III. Оборудование для алмазного шлифования и доводки</b> . . . . .	<b>44</b>
6. Типы станков и их технические характеристики . . . . .	—
7. Профилешлифовальные станки . . . . .	48
8. Координатно-шлифовальные станки . . . . .	50
9. Оборудование для механизации слесарно-доводочных работ . . . . .	53
<b>Глава IV. Алмазное шлифование и доводка твердых сплавов и сталей</b> . . . . .	<b>55</b>
10. Режимы и условия обработки твердых сплавов . . . . .	—
11. Режимы и условия обработки сталей . . . . .	63
<b>Глава V. Технологические показатели и эффективность алмазной обработки</b> . . . . .	<b>70</b>
12. Технологические показатели шлифования . . . . .	—
13. Эффективность алмазной обработки . . . . .	75
<b>Глава VI. Технология алмазной обработки и типовые технологические процессы</b> . . . . .	<b>77</b>
14. Требования, предъявляемые к деталям, и варианты технологических способов обработки . . . . .	—
15. Подготовка алмазных кругов к работе и условия их эксплуатации . . . . .	80
<b>Глава VII. Новое в развитии алмазной обработки</b> . . . . .	<b>83</b>
16. Электролитический способ обработки . . . . .	—
17. Шлифование труднообрабатываемых материалов . . . . .	88
18. Новый абразивный материал . . . . .	91
Приложения . . . . .	93
Литература . . . . .	106

Борис Сергеевич КОРШУНОВ  
АЛМАЗНОЕ ШЛИФОВАНИЕ

Редактор издательства *М. Ф. Бухтин*

Технический редактор *Т. Н. Кондрот*

Корректор *Р. И. Беккер*

Сдано в производство 2/XII 1966 г. Подписано к печати 18/V 1967 г. М-10347  
Формат бумаги 84×108/32 Бумага типографская № 3 Прив. печ. л. 5,67  
Уч.-изд. л. 4,9 Тираж 15 000 экз. Заказ № 1407 Цена 18 коп.

---

Ленинградское отделение издательства «МАШИНОСТРОЕНИЕ»  
Ленинград, Д-65, ул. Дзержинского, 10

---

Ленинградская типография № 6 Главполиграфпрома  
Комитета по печати при Совете Министров СССР  
Ленинград, ул. Мойсеенко, 10