

АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА, АБРАЗИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

Распространенным видом обработки поверхностей является абразивная обработка, которая за последние годы из способа понижения шероховатости поверхности превратилась в наиболее производительный способ формообразования. Абразивная обработка — единственный способ обработки современных инструментальных материалов (твердых сплавов, минералокерамики, сверхтвердых материалов). Парк станков для абразивной обработки достигает 20 % общего станочного парка, а в подшипниковой и некоторых других отраслях промышленности — 60 % и более. Развитию абразивной обработки во многом способствовало создание новых абразивных материалов и новых связей, совершенствование технологии получения абразивных материалов и инструмента из него, применение новых методов обработки (электрохимической с наложением колебаний, в «кипящем» слое свободным абразивным зерном, электромагнитной и др.) и т. д.

14.1. Абразивные материалы

Веществами повышенной твердости, применяемыми в массивном или измельченном состоянии для механической обработки, являются абразивные материалы (табл. 14.1). Они разделяются на природные (алмаз, корунд, наждак, кварцевый песок, гранат, кремень и др.) и искусственные.

Природные материалы. Алмаз природный состоит из чистого углерода с небольшим количеством примесей. В промышленных целях используют технический алмаз. Отличается высокой твердостью, теплопроводностью, высоким модулем упругости, малыми коэффициентами линейного и объемного расширения, малой склонностью к адгезии с металлами, за исключением железа и его сплавов. Вместе с тем он хрупок, обладает анизотропией (прочность кристалла в различных направлениях изменяется в 500 раз). При нагревании свыше 700—800 °С переходит в графит.

Корунд состоит из α -модификации Al_2O_3 . Преимущественная область применения — для обработки металла и стекла свободными зёрнами, в меньшей степени для производства шлифовальных кругов и брусков для хонингования.

14.1. Физико-механические свойства искусственных и природных абразивных материалов

Материал	Плотность, г/см ³	Микротвер- дость, ГПа	Механическая прочность, Н, при зернистости 25	Теплоустой- чивость, °С
<i>Природные</i>				
Алмаз	3,48—3,56	98,4	—	700—800
Корунд	3,90—4,12	17,7—23,5	5,5—13,7	1700—1800
Гранат	3,53—4,32	13,7—16,7	3,9—7,8	1200—1250
Кремень	2,57—2,64	9,8—14,7	6,9—7,9	1500—1600
<i>Искусственные</i>				
Алмаз	3,47—3,56	84,4—98,1	14,7—55,9 *	700—800
Эльбор	3,45—3,49	78,5—98,1	7,6—9,0	1400—1500
Карбид бора	2,48—2,52	39,2—44,2	—	700—800
Карбид кремния: зеленый	3,15—3,25	32,4—35,3	11,0—14,7	1300—1400
черный	3,15—3,25	32,4—35,3	11,0—14,7	1300—1400
Электрокорунд: нормальный	3,85—3,95	18,9—19,6	8,8—10,7	1250—1300
белый	3,90—3,95	19,6—20,9	8,8—10,4	1700—1800
хромтитани- стый	3,95—4,00	19,6—22,6	10,3—10,8	1750—1850
циркониевый	4,05—4,15	22,6—23,5	589 **	1900—2000
Монокорунд	3,94—4,00	22,6—23,5	11,7—13,7	1700—1800
Сферокорунд	3,90—3,95	19,6—20,9	1,0—4,0	1700—1800
Формокорунд	3,95—4,05	18,9—19,6	—	1250—1300
Техническое стек- ло	2,50—2,60	3,9—8,8	—	500—600

* ГОСТ 9206—80Е. «Порошки алмазные. Технические условия».
** Для материала зернистости 125.

Наждак содержит корунд (10—30 %), связанный с магнетитом, гематитом или шпинелью. Область применения та же, что и у корунда.

Гранат представляет собой группу минералов, из которых наиболее пригодны для использования в абразивных целях альмандин и пироп. Шлифзерно и шлифпорошки из этих веществ применяют при изготовлении шлифовальной шкурки для обработки древесины, кожи, пластмасс; микрошлифпорошки — для полировки изделий из стекла.

Кремень является кварцесодержащим природным материалом. Для абразивного производства используют кремень, содержащий не менее 92 % SiO₂, не более 2 % CaO и не более 4 % глинистых минералов. Из кремния производят шлифзерно и шлифпорошки, применяемые для изготовления шлифовальной шкурки или в виде свободных зерен при обработке древесины.

Искусственные материалы. *Алмаз синтетический* — абразивный материал, получаемый из графита при высоких давлении и температуре. По физическим свойствам синтетический алмаз идентичен природному и не уступает ему по абразивной способности. Применяется для всех видов алмазного абразивного инструмента.

Эльбор — синтетический материал на основе кубического нитрида бора (BN). Отличается высокой твердостью, теплостойкостью, высоким модулем упругости, низким коэффициентом линейного расширения, химической устойчивостью к кислотам, щелочам, инертностью к железу. При производстве возможно получать эльбор с различными свойствами и строением. Из эльбора изготавливают все виды абразивного инструмента.

Карбид бора состоит из 84—93 % кристаллического карбида бора (B_4C) и небольшого количества примесей бора, оксида бора, графита и др. Отличается высокой хрупкостью, из-за чего его выпускают в виде шлифматериалов для обработки свободными зёрнами твердосплавного инструмента.

Карбид кремния состоит из α -модификации SiC. Выпускается в виде зеленого и черного карбидов идентичных химических составов, отличающихся количеством примесей (у зеленого карбида кремния их меньше, поэтому черный более хрупок и обладает меньшей абразивной способностью). Из карбида кремния изготавливают все виды абразивного инструмента.

Электрокорунд — искусственный корунд, выпускаемый в виде нескольких разновидностей.

1. Нормальный электрокорунд содержит 93—95 % корунда, остальное — примеси, отличается высокой прочностью, вязкостью. Эти свойства обуславливают его широкое использование при обработке металлов, в том числе и на обдирочных операциях.

2. Белый электрокорунд состоит из 98—99 % корунда и примесей. Применяется для изготовления абразивного инструмента, шлифовальной шкурки, в виде микропорошков при обработке свободными зёрнами.

3. Хромтитанистый, хромистый или титанистый электрокорунд представляет собой электрокорунд, легированный хромом, титаном, что улучшает его абразивные свойства. Применяется для изготовления всех видов абразивного инструмента, обеспечивая значительное повышение производительности при обработке конструкционных и углеродистых сталей по сравнению с электрокорундом.

4. Циркониевый электрокорунд состоит из корунда и окиси циркония. Используется для изготовления обдирочных кругов. На обдирочных операциях стойкость таких кругов приблизительно в 40 раз превышает стойкость кругов из электрокорунда.

5. Монокорунд обладает высокими механическими и режущими свойствами. Применяется при изготовлении всех видов абразивного инструмента для обработки труднообрабатываемых сталей и сплавов.

6. Сферокорунд состоит из 99 % Al_2O_3 и примесей. Имеет вид полых сфер. Применяется при изготовлении шлифовальных кругов для обработки мягких, вязких материалов: цветных металлов, кожи, резины, пластмасс. Корундовые сферы при работе разрушаются, обнажая новые острые режущие кромки. Это позволяет достичь более высокой производительности.

7. Формокорунд состоит из 80—87 % Al_2O_3 , до 1,5 % Fe_2O_3 и примесей. Зерно корунда цилиндрической (С) формы диаметром 1,2—2,8 мм или призматической (Р) формы шириной 1,2—2,8 мм, длиной 3,8—8 мм. Применяется при производстве абразивного инструмента для тяжелых обдирочных работ.

Техническое стекло получают дроблением и делением на фракции боя листового и бутылочного стекла. Используют в виде шлифзерна и шлифпорошков при изготовлении шкурки для обработки древесины.

Характеристики абразивных материалов и области их применения. Условные обозначения наиболее распространенных абразивных материалов следующие: А — алмаз природный; АС — алмаз синтетический; АР — алмаз синтетический поликристаллический; Л — эльбор; nA — материал на основе корунда (n — цифра, характеризующая конкретный материал); nC — материалы на основе карбида кремния; КБ — карбид бора.

Область применения указанных абразивных материалов приведена в табл. 14.2.

Алмазные материалы выпускаются в виде порошков по ГОСТ 9206—80Е. В зависимости от размера зерен и способа получения порошки разделяются на шлифпорошки (размер зерен 3000—40 мкм), микропорошки (размер зерна 80—1 мкм и менее), субмикропорошки (размер зерен 1,0—0,1 мкм и менее). Зернистость обозначается дробью, в числителе которой указано число, равное размеру ячейки сита в микрометрах, через которую проходят зерна основной, преобладающей по массе фракции, а в знаменателе — число, равное размеру ячейки сита, на котором зерна задерживаются.

В зависимости от разности размеров ячеек верхнего и нижнего сит зернистость шлифпорошков может соответствовать узкому или широкому диапазону. Широкий диапазон зернистостей шлифпорошков составляет 63/40—2500/1600; узкий диапазон — 50/40—2500/2000. Микропорошки и субмикропорошки имеют зернистость 1/0—60/40.

По виду сырья алмазные порошки разделяются на порошки из природных (обозначаются буквой А), синтетических (обозначаются буквами АС) и синтетических поликристаллических алмазов (обозначаются буквами АР). К этим обозначениям добавляют для шлифпорошков из природных алмазов цифровой индекс, соответствующий 0,1 процентного содержания зерен изометрической формы, для порошков из синтетических алмазов цифровой индекс, характеризующий прочность на сжатие зерен данного мате-

14.2. Область , применения абразивных материалов

Абразивный материал, марка	Абразивный инструмент	Область применения
Алмаз А, АС, АР	Свободное зерно, пасты, круги, бруски, , карандаши, роулики	Шлифование, резка, доводка и отделка твердых сплавов, правка шлифовальных кругов
Эльбор ЛП; ЛО	Свободное зерно, пасты, круги, бруски, шлифовальная шкурка	Окончательная обработка высокоточных заготовок из подшипниковых, инструментальных и труднообрабатываемых закаленных сталей инструментами из шлифовальных порошков на всех связках. Отделочные работы незакрепленным зерном и шлифовальной шкуркой
Электрокорунд нормальный: 13А	Свободное зерно, пасты, круги, сегменты	Обдирочное шлифование стальных заготовок кругами на органических связках. Отделочные работы незакрепленным зерном
14А	Круги, бруски	Шлифование стальных заготовок кругами на органических и неорганических связках
15А, 16А	Круги, бруски, шлифовальная шкурка	Шлифование стальных заготовок кругами из шлифовального зерна и шлифовальных порошков на органической связке. Отделка стальных заготовок незакрепленным зерном, пастами и брусками
Электрокорунд белый: 23А	Свободное зерно, пасты, круги, бруски	То же
22А, 24А	Круги, бруски, шлифовальная шкурка	Шлифование закаленных стальных заготовок кругами, брусками из шлифовального зерна и шлифовальных порошков на всех связках. Отделочные работы шлифовальной шкуркой
25А	Круги, бруски, шлифовальная шкурка	Скоростное шлифование, доводка стальных закаленных заготовок кругами, брусками из шлифовального зерна, шлифовальных порошков и микропорошков на керамических связках. Шлифование труднообрабатываемых сталей и сплавов. Отделочные работы шлифовальной шкуркой
Электрокорунд хромистый 33А, 34А	Свободное зерно, пасты, круги, бруски	Шлифование, доводка и отделка изделий из углеродистых и конструкционных сталей в незакаленном и закаленном состояниях
Электрокорунд титанистый 37А	Круги, сегменты	Скоростное шлифование стальных заготовок кругами на керамической и бакелитовой связках

Абразивный материал, марка	Абразивный инструмент	Область применения
Электрокорунд циркониевый 38А	Круги, сегменты	Обдирочное силовое шлифование стальных заготовок кругами на бакелитовой связке при высоких скоростях и подачах
Монокорунд: 43А	Свободное зерно, пасты, круги, бруски, шлифовальная шкурка	Шлифование и заточка труднообрабатываемых сталей и сплавов инструментами из шлифовального зерна и шлифовальных порошков на керамических связках
44А, 45А	Бруски, шлифовальная шкурка	Отделка и доводка незакрепленным зерном и шлифовальной шкуркой
Электрокорунд хромтитанистый: 91А, 92А	Круги	Шлифование на получистовых и чистовых режимах закаленных изделий из углеродистых, конструкционных, быстрорежущих и труднообрабатываемых сталей кругами на всех связках
93А, 94А	» Свободное зерно, пасты	Шлифование стальных закаленных и незакаленных заготовок кругами на керамической и бакелитовой связках Отделка и доводка чугунных заготовок, а также заготовок из цветных металлов и их сплавов незакрепленными микропорошками
Карбид кремния черный: 52С	Круги, бруски, сегменты, шлифовальная шкурка	Обработка заготовок из чугуна, цветных металлов и вольфрамовых твердых сплавов инструментами из шлифовальных порошков и микропорошков на всех связках. Шлифование, отделка и доводка незакрепленным зерном и шлифовальной шкуркой
54С	То же	Обработка заготовок из чугуна, цветных металлов и вольфрамовых твердых сплавов инструментами из шлифовального зерна на всех связках. Отделочные работы шлифовальной шкуркой
Карбид кремния зеленого: 62С	Свободное зерно, пасты, круги, бруски, шлифовальная шкурка	Обработка заготовок из чугуна, алюминия, меди, гранита, мрамора инструментами из шлифовальных порошков на всех связках. Отделка и доводка незакаленным зерном и шлифовальной шкуркой

Абразивный материал, марка	Абразивный инструмент	Область применения
63С	Круги, бруски, сегменты, шлифовальная шкурка	Обработка титановых и титанотанталовых твердых сплавов инструментами из шлифовального зерна на всех связках. Отделка и доводка шлифовальной шкуркой
64С	Свободное зерно, бруски, круги	Обработка заготовок из чугуна, меди, алюминия, гранита, мрамора инструментами из шлифовального зерна и микропорошков на всех связках. Скоростное шлифование заготовок из чугунов кругами на керамической связке. Отделка и доводка незакрепленным зерном и шлифовальной шкуркой
Смесь из зеленого и черного карбида кремния 60 %, 63С и 40 % 54С Карбид бора КБ	Круги, бруски, сегменты, шлифовальная шкурка Свободное зерно, пасты	Обработка заготовок из твердых сплавов, чугунов и цветных металлов Шлифование, отделка и доводка незакрепленным зерном деталей из твердых сплавов и чугунов

риала, для поликристаллического алмаза буквенный индекс: В — баллас, К — карбонадо, С — спеки. Алмазные микропорошки и субмикропорошки нормальной абразивной способности обозначаются буквами АМ и АСМ, а повышенной производительности — буквами АН и АСН. К обозначению субмикропорошков добавляют процентное содержание зерен крупной фракции (табл. 14.3).

Примеры условного обозначения шлифпорошка:

- 1) из синтетических алмазов марки АС6 зернистостью 160/125:
Шлифпорошок АС6 160/125 — ГОСТ 9206—80Е;
- 2) микропорошка марки АСМ зернистостью 40/28:
Микропорошок АСМ 40/28 ГОСТ 9206—80Е;
- 3) субмикропорошка марки АСМ5 зернистостью 0,5/0,1:
субмикропорошок АСМ5 0,5/0,1 ГОСТ 9206—80Е.

Алмазные зерна, имеющие покрытия, предназначены для изготовления алмазного инструмента. Вид покрытия и отношение массы алмазного порошка к массе покрытия (для зерен с карбидометаллическим покрытием) указываются в обозначении инструмента после зернистости. Буквенный индекс К обозначает покрытие карбидом вольфрама, КМ — покрытие пленками сплавов, содержащих кремний; А — покрытие карбидометаллической пленкой (отношение массы алмазного порошка к массе покрытия для разновидности А1 составляет 1 : 0,5; для разновидности А2 — 1 : 0,75; для разновидности А3 — 1 : 1).

14.3. Марки алмазных порошков, их характеристики и области применения (ГОСТ 9206—80Е)

Марка	Характеристика	Способ использования и область применения
A1; A2, A3	Шлифопорошки из природных дробленых алмазов с содержанием 10, 20 и 30 % зерен изометричной формы соответственно	Инструменты на металлических связках для обработки керамики, стекла, камня, бетона
A5, A8	То же, но с содержанием не менее 50 или 80 % зерен изометричной формы	Шлифовальные круги на металлических связках для обработки прочных бетонов, камня твердых пород, твердой керамики. Правящий и буровой инструменты, а также инструменты для стройиндустрии и камнеобработки
AC2	Шлифопорошки из синтетических алмазов повышенной хрупкости	Инструменты на органических связках для доводки и чистовой обработки твердых сплавов и сталей
AC4	То же, но большей прочности	Инструменты на органических и керамических связках для обработки твердых сплавов, керамики и других хрупких материалов
AC6	То же, но более высокой прочности	Инструменты на металлических связках, работающие на повышенных нагрузках
AC15	То же, но с высокими прочностными свойствами	То же
AC20, AC32	То же, но повышенной прочности	»
AC50	То же, но повышенной прочности и коэффициентом формы зерна не более 1,18	Инструменты для особо тяжелых условий работы (бурения, резки гранита, камня, корунда и т. д.)
APB1	Шлифопорошки из синтетических поликристаллических дробленых алмазов типа баллас	Инструменты для черногого хонингования чугунов, резки стеклопластиков
APK4	То же, но из дробленых алмазов типа карбонадо	Инструменты для тяжелых условий работы (хонингования, камнеобработки)
APC3	То же, из дробленых алмазов типа «спеки»	Инструменты для особо тяжелых условий работы
AM, ACM	Микропорошки из природных (AM) или синтетических (ACM) алмазов нормальной абразивной способности	Доводка и полировка твердых и сверхтвердых труднообрабатываемых материалов, корунда, керамики, алмазов, драгоценных камней
AH, ACH	Микропорошки из природных (AH) или синтетических (ACH) алмазов с повышенным содержанием основной функции и повышенной абразивной способности	То же

Марка	Характеристика	Способ использования и область применения
АМ1, АМ5	Субмикropорошки из природных алмазов с содержанием крупной фракции до 1 (АМ1) или 5 % (АМ5)	Сверхтонкая доводка и полирование
АСМ1, АСМ5	То же, но из синтетических алмазов	То же

Эльборовые материалы выпускаются в виде порошков, применяемых для изготовления эльборового инструмента и для свободного резания. В зависимости от размера зерен они разделяются на шлифзерна (размеры зерен 160—500 мкм), шлифпорошки (размеры зерен 40—120 мкм), микрошлифпорошки (размеры зерен 1—63 мкм). Обозначение зернистости эльборовых материалов аналогично обозначению алмазных материалов узкого диапазона зернистостей.

В зависимости от вида сырья, способа получения, наличия покрытий и прочности эльбор производится следующих марок: ЛО — обычной механической прочности; ЛП, ЛКВ — повышенной прочности; ЛД — поликристаллический; ЛОМ, ЛОС — с покрытиями.

Опытным заводом ИСМ АН УССР выпускается материал на основе кубического нитрида бора под торговым названием «Кубонит» марок КР — монокристаллический и КРМ — металлизированный.

Материалы шлифовальные (ГОСТ 3647—80), кроме алмазных и эльборовых, по размеру зерен разделяются на шлифзерна (2000—160 мкм); шлифпорошки (125—40 мкм); микрошлифпорошки (63—14 мкм); тонкие микрошлифпорошки (10—3 мкм).

Зернистость шлифзерна и шлифпорошка обозначают цифровым индексом, равным 0,1 размера стороны ячейки сита в микрометрах, на котором задерживаются зерна основной фракции. Зернистость микрошлифпорошков обозначают буквенным индексом М и цифровым индексом, равным верхнему пределу размеров зерен основной фракции в микрометрах.

В зависимости от содержания основной фракции (высокое, повышенное, нормальное или допустимое — в такой последовательности уменьшается содержание основной фракции) обозначение зернистости дополняют буквенным индексом В, П, Н или Д. Шлифзерна выпускаются зернистостью 16-П—200-П; 16-Н—200-Н; 16-Д—25-Д; шлифпорошки — зернистостью 4-П—12-П; 4-Н—12-Н; микрошлифпорошки — зернистостью М5-В—М63-В; М5-П—М63-П; М5-Н—М63-Н; М7-Д—М40-Д. Каждый вид мате-

**14.4. Обозначения основных абразивных материалов,
выпускаемых отечественными предприятиями
и некоторыми зарубежными фирмами**

Абразивный материал	СССР	США		Ан- глия	Франция		
		Фирмы					
		«Нортон» (Norton Co.)	«Карборундум» (The Carborundum Co.)	«Дженерал электрик» (General Electric Co.)	«Универсал Кридингвилл» (Universal Crinding wheel Co., Ltd)	«Меулс Рекс» (Meules Rex)	«Дурршмидт» (Durr-schmidt)
Абразивное зерно на основе кубического нитрида бора	Эльбор-ЛО, -ЛП, -Р			Боразон; боразон резцовый			
Карбид кремния: зеленый	64С, 63С, 62С	39С	GC		С	66С	4С
черный	55С, 54С, 53С, 52С	37С	С		BC	55С	С
Монокорунд	45А, 44А, 43А	32А					
Электрокорунд: циркониевый	68А	68А, 66А, ZS, ZF					
титанистый	37А						
хромистый	34А, 33А, 32А	25А	5А				
белый	25А, 24А, 23А, 22А	38А	AA		WA	44А	99А
нормальный	16А, 15А, 14А, 13А, 12А	А, 16А, 44А	А		А	А	А

Абразивный материал	ФРГ	Италия	Австрия	Швейцария	Япония		
	Фирмы						
	«Наксос-Унион» (Naxos-Union)	MSO	M-Ole	SIMAT	«Тиролит» (Tyrolit)	«Винтер» (Winterf)	«Шова Денко» (Showa Denko K. K.)
Абразивное зерно на основе кубического нитрида бора							
Карбид кремния: зеленый черный	SiC SiC	SCg SC21	CVC CNC	CW C	C IC	Vitocarbon »	GC C
Монокорунд							SA
Электрокорунд: циркониевый титанистый хромистый белый нормальный	EK NK	EK _v NK	OBA ONA	WA A	28A, 24A, 14A 88A 89A A, 10A	Vitoneva Vitoborund	WA A-40, TA

риала также имеет определенную, ограниченную зернистость: карбид бора M1—16; зеленый карбид кремния M1—80; черный карбид кремния M5—160; нормальный электрокорунд M5—200; белый электрокорунд M5—80; хромотитанистый электрокорунд 6—200; микрокорунд 6—80; сферокорунд 50—250; кремнь 6—50; корунд M7—M40.

Обозначения шлифовальных материалов по ГОСТу и материалов, выпускаемых некоторыми иностранными фирмами, приведены в табл. 14.4.

14.2. Абразивный инструмент

Для абразивной обработки: шлифования, притирки, суперфиниширования и др. — служит абразивный инструмент. Он разделяется на инструмент на жесткой основе (круги, головки, сег-

**14.5. Степени твердости шлифовальных кругов,
выпускаемых отечественными предприятиями и зарубежными фирмами**

Обозначение степени твердости		Обозначение степени твердости		Обозначение степени твердости	
По зарубеж- ным стан- дартам	По ГОСТу	По зарубеж- ным стан- дартам	По ГОСТу	По зарубеж- ным стан- дартам	По ГОСТу
<i>F</i>	BM1	<i>L</i>	CM2	<i>Q</i>	CT3
<i>G</i>	BM2	<i>M</i>	C1	<i>R</i>	T1
<i>H</i>	M1	<i>N</i>	C2	<i>C</i>	T2
<i>I</i>	M2	<i>O</i>	CT1	<i>T, U</i>	BT
<i>J</i>	M3	<i>P</i>	CT2	<i>V, W, Y, Z</i>	CT
<i>K</i>	CM1				

П р и м е ч а н и е. Шкала степеней твердости имеет символический характер и не может быть использована для непосредственной замены импортного инструмента отечественным и наоборот.

менты, бруски), инструмент на гибкой основе (эластичные круги, шкурки, ленты), пасты, абразивные зерна.

Инструмент на жесткой основе. Характеризуется видом абразивного материала, его зернистостью, твердостью, структурой, связкой, классом точности, формой и размерами. Вращающийся инструмент дополнительно характеризуется классом неуравновешенности, а алмазный и эльборовый — концентрацией зерен в рабочем слое.

Каждый вид инструмента на жесткой основе представляет собой тело, образованное абразивными зёрнами, соединенными различными видами связок. Зерна могут свободно размещаться во всем объеме тела, находиться лишь в рабочем слое, могут быть ориентированы так, чтобы обеспечить наиболее эффективный процесс шлифования. В объеме тела инструмента или рабочего слоя имеются поры. Соотношение объема зерен, пор и связки определяет структуру инструмента.

Характеристики инструмента. Способность связки инструмента удерживать абразивные зерна характеризует твердость (табл. 14.5), которая определяется его назначением. Ниже приведены примеры требуемой степени твердости инструмента в зависимости от вида обработки:

BT—CT — правка абразивных инструментов; шлифование шариков шарикоподшипников и деталей часовых механизмов;

CT2—T2 — обдирочные операции, ведущиеся вручную (обработка крупных отливок и поковок); отрезка шлифовальными дисками, прорезка канавок; круглое наружное шлифование методом врезания при необходимости сохранить профиль круга, бесцентровое шлифование ведущими кругами, хонингование отверстий небольших диаметров;

С2—СТ2 — предварительное круглое наружное и бесцентровое шлифование сталей (преимущественно незакаленных) и ковкого чугуна;

С1—СТ1 — плоское шлифование сегментами и кольцевыми кругами на бакелитовой связке;

С2—СТ2 — хонингование и резбошлифование кругами на бакелитовой связке; профильное шлифование, обработка прерывистых поверхностей;

СМ1—С2 — чистовое и комбинированное круглое, наружное, бесцентровое и внутреннее шлифование стали, плоское шлифование периферией круга, резбошлифование деталей с крупным шагом;

С1—С2 — заточка режущих инструментов вручную;

СМ1—СМ2 — то же, но с механической или автоматической подачей;

М2—СМ2 — плоское шлифование торцом круга;

М2—М3 — заточка и доводка режущего инструмента, оснащенного твердым сплавом, шлифование труднообрабатываемых специальных сплавов.

Структура абразивного инструмента. По структуре инструмент разделяют на 12 групп, которым присваиваются номера от № 1 до № 12. Чем выше номер, тем меньше зерен, больше связки и пор. Структуры № 1—№ 4 относят к закрытым (плотным), структуры № 5—№ 8 — к средним, структуры № 9—№ 12 — к открытым (табл. 14.6). Круги на керамической связке иногда выполняют с повышенной пористостью. Структуры таких инструментов имеют размер пор до 3 мм, что больше размера абразивных зерен, и им присваивают номера от № 13 до № 18. При этом зернистость абразивного материала назначается на 1—3 разряда меньше, чем обычно.

На выбор структуры влияют материал детали, требования к качеству ее поверхности, вид и условия шлифования (табл. 14.6). Так, твердые и хрупкие материалы обрабатывают инструментом закрытых структур, чистовую обработку также осуществляют кругами закрытых структур.

Класс точности инструмента. В зависимости от требований к зерновому составу, предельным отклонениям поверхностей, их взаимному расположению, наличию сколов,

14.6. Структуры шлифовальных кругов в зависимости от вида обработки

Номер структуры	Вид обработки
3—4	Профильное шлифование при необходимости сохранить профиль круга, шлифование при больших, а также переменных нагрузках, отрезка
5—6	Круглое наружное шлифование, бесцентровое шлифование, плоское шлифование периферией круга и заточка инструмента
7—9	Плоское шлифование торцом круга, внутреннее шлифование
8—10	Шлифование и заточка инструментов
8—12	Резбошлифование мелкозернистыми кругами

14.7. Связки абразивных инструментов

Состав	Область применения		Особенности связки и инструмента на ее основе
	Абразивный инструмент	Вид обработки	
Неорганические			
<i>Керамическая К1—К10</i>			
Огнеупорная глина, полевой шпат, тальк, кварц, растворимое стекло, декстрин	Шлифовальные круги, головки, бруски, сегменты	Все виды шлифования, за исключением прорезки узких пазов и разрезных работ, при окружной скорости шлифовального круга до 35 м/с и специального круга до 60 м/с	Высокая водоупорность, температурная и химическая стойкость. Шлифовальные круги хорошо сохраняют рабочий профиль инструмента, но чувствительны к ударным и изгибающим нагрузкам
<i>Магнезиальная МГ</i>			
Каустический магнетит и хлористый магниевый (магнезиальный цемент)	Шлифовальные круги	Сухое шлифование на заточных и зачистных операциях при обработке деталей прямого профиля, не требующих выдерживания точных размеров, с наибольшей допустимой окружной скоростью 20 м/с	Чувствительность к влаге и холоду, уменьшенное выделение тепла в зоне резания. Шлифовальные круги плохо сохраняют рабочий профиль
<i>Силикатовая С</i>			
Растворимое стекло (силикат натрия), окись цинка, мел, пластичная глина	Шлифовальные круги	Плоское сухое шлифование торцом круга; шлифование особо чувствительных к перегреву деталей, а также в случаях, когда круг имеет большую площадь контакта со шлифуемой деталью	Малая сцепляемость с зернами способствует их самозатачиванию. Круги размягчаются при работе с охлаждающей жидкостью
<i>Металлическая М</i>			
Медная или алюминиевая основа с добавлением других компонентов и наполнителей	Эльборовые и алмазные шлифовальные круги, головки, хонинговальные бруски, притиры	Все виды шлифования и доводки, где применяются алмазная обработка и обработка инструментом из эльбора	Высокая водоупорность, температурная и химическая стойкость. Инструменты хорошо сохраняют рабочий профиль, но склонны к засаливанию

Бакелитовая Б, Б1—Б4; БУ; Б156; БП2

Фенолформальдегидные смолы, фурфурол	Шлифовальные круги, головки, бруски	Плоское шлифование; прорезка узких пазов; обдирочные, заточные и отделочные работы; резьбошлифование при окружной скорости круга 50 м/с; отрезные работы при окружной скорости круга 80 м/с	Высокие прочность и упругость. Разрушается под действием 1,5 %-ной щелочной охлаждающей жидкости. Не выдерживает температуру более 250 °С
--------------------------------------	-------------------------------------	---	---

Глифталевая Гф

Глифталевая смола (синтез глицерина и фталевого ангидрида)	Шлифовальные круги	Чистовое и отделочное шлифование	Повышенная упругость по сравнению с бакелитовой связкой
--	--------------------	----------------------------------	---

Вулканитовая В; В1—В5

Каучук и наполнители (окись магния, окись цинка, сажа и др.)	Шлифовальные круги и диски (жесткие и гибкие); ведущие круги для бесцентрового шлифования	Прорезка узких пазов и их шлифование; отрезные работы при окружной скорости круга 80 м/с, шлифование и полирование фасонных поверхностей, шлицев, резьб; декоративное полирование до $R_a = 0,1$ мкм эластичными кругами при окружной скорости, не превышающей 18 м/с	Отличается высокой упругостью. Разрушается при температуре, превышающей 150 °С. Не пригодна для снятия больших припусков, так как имеет плотную структуру и склонна к засаливанию. Шлифовальные круги могут изготавливаться тонкими
--	---	---	---

Вулканитовая СКН

Синтетический каучук	Шлифовальные круги для шлифования резьбы с мелким шагом	То же	То же
----------------------	---	-------	-------

Клеи, лаки

Мездровый, казеиновый клей, жидкое стекло, синтетические смолы, шеллак и другие лаки	Шкурки, ленты, полировальные диски	Сухое шлифование и полирование резины, металлов, дерева, пластмасс	Наиболее устойчивый при нагреве мездровый клей по ГОСТу 3252—80*. Водоустойчивые шеллак и другие лаки
--	------------------------------------	--	---

трещин и раковин абразивный инструмент выпускается трех классов точности: АА, А и Б (шлифовальные круги), а остальные инструменты — двух классов: А и Б.

Точность изготовления инструмента из эльбора и алмазов регламентируется техническими условиями на каждый вид инструмента (ГОСТ 24106—80* Е и ГОСТ 16191—82 — на круги и т. д.).

К л а с с н е у р а в н о в е ш е н н о с т и и н с т р у м е н т а . Во многом определяет производительность обработки, качество поверхности детали, стойкость шлифовальных кругов. В соответствии с требованиями ГОСТ 3060—75 круги по неуравновешенности масс разделяются на 4 класса.

Круги класса точности АА должны соответствовать 1-му классу неуравновешенности, круги класса точности А — 1-му или 2-му, а круги класса точности Б — 1, 2 или 3-му классу неуравновешенности. Класс неуравновешенности кругов из эльбора на керамических связках должен быть 1-м или 2-м.

С в я з к а . Оказывает существенное влияние на режущую способность абразивного инструмента, а следовательно, и на процесс шлифования.

Предназначена для закрепления абразивных зерен и наполнителя. Основой (преобладающим компонентом) связки могут быть различные органические и неорганические материалы (табл. 14.7). Так, в керамических связках — боросиликатное стекло, в металлических — алюминий, медь, железо, цинк, олово и другие металлы, в органических — пульвербакелит и т. д. Кроме основы в связки вводятся и клеящие вещества (декстрин, жидкое стекло) и отвердители (уротропин). В состав органических связок для алмазного инструмента входят наполнители (карбид бора в связку марки Б1, железный порошок в связку марки Б2, карбид кремния зеленый в связку марки Б4, дробленая резина в связку марки БР).

Вид связки маркируется на инструменте буквенными индексами: «К», «Б», «В» — абразивные инструменты из обычных материалов; «К», «О», «М» — абразивные инструменты из эльбора; связки для алмазного инструмента маркируются в соответствии с их разновидностями, приведенными в табл. 14.8. Иногда (например, для отрезных кругов на бакелитовой связке) в состав связки вводят упрочняющие элементы. При этом к обозначению связки добавляют индекс «у». Кроме приведенных связок при изготовлении высокопористых кругов находят применение поропластовая или эпоксидно-каучуковая связка. Поропластовая связка — вспененный поливинилформаль. Пористость кругов — до 80 %. Эпоксидно-каучуковая связка (ЭК) на основе эпоксидно-новолачного блоксополимера отличается повышенной химической стойкостью.

Концентрация зерен в абразивном слое является характеристикой режущей способности инструмента из эльбора и алмазного инструмента. За 100 %-ную концентрацию принимается содержа-

14.8. Основные марки связок для алмазного инструмента

Марка связки	Вид и материал связки	Наполнитель	
		Материал	Объемное содержание, %
Б1	<i>Органическая</i> Новолачная фенолформальдегидная смола с уротропином — пульвербакелит (ПБ)	Карбид бора	50
Б2		Железный порошок ПЖ1-ПМ5	75,8
Б3		Электрокорунд белый Препарат С1 (коллоидно-графитовый)	55,2 5
Б4		Карбид кремния зеленый	56,2
Б8		Барий сернокислый Тальк медицинский	46,6 18,6
БР		Резина дробленая	32,5
Б156		Карбид бора Смесь порошков цветных металлов	10,0 40,0
БП2		Карбид бора Порошок меди и др.	10,0 40,0
КЛ	<i>Керамическая</i> Боросиликатное стекло	Керамический шамот Карбид бора Алюминий	46 7,5 8,5
М1, М1П, МО16 МО13 МО137 МС15	<i>Металлическая</i> Смесь порошков меди, олова Смесь порошков меди, алюминия, цинка То же, но с кадмиевым порошком Смесь порошков меди, олова, хрома, кобальта	—	—

ние 0,878 г (4,4 карата) зерен эльбора или алмаза в 1 см³ абразивного слоя.

В промышленности находят применение инструменты с 25-, 50-, 75-, 100-, 125- и 150 %-ной концентрацией эльбора или алмаза. При маркировке алмазного инструмента концентрация обозначается цифровым индексом. Относительная 25 %-ная концентрация маркируется цифрой 1, 50 %-ная — цифрой 2, 75 %-ная — цифрой 3, 100 %-ная — цифрой 4, 125 %-ная — цифрой 5, 150 %-ная — цифрой 6. При маркировке инструмента из эльбора цифровой индекс должен соответствовать относительной концентрации (100 %-ная концентрация не маркируется).

Зернистость инструмента. Выбирается в зависимости от условий обработки. Так, зернистость 160 и более рекомендуется при обдирочном силовом шлифовании; 125—80 — при обдирочных операциях, при зачистке отливок, поковок, штамповочных и других заготовок; 80—50 — при плоском шлифовании торцом круга, заточке средних и крупных резцов, правке абразивного инструмента, отрезке; 63—25 — при предварительном и комбинированном шлифовании (предварительное и окончательное шлифование выполняются без съема изделия со станка), заточке режущего инструмента; 32—16 — при чистовом шлифовании, обработке профильных поверхностей, заточке мелкого инструмента, шлифовании хрупких материалов; 12—6 — при отделочном шлифовании, доводке твердых сплавов, доводке режущего инструмента, предварительном хонинговании, заточке тонких лезвий; 6—4 — при отделочном шлифовании металлов, стекла, мрамора и т. п., резьбошлифовании, чистовом хонинговании; М40 и мельче — при суперфинишировании, окончательном хонинговании, доводке тонких лезвий измерительных поверхностей калибров, резьбошлифовании изделий с мелким шагом.

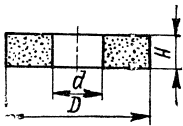
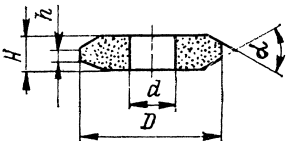
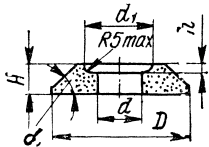
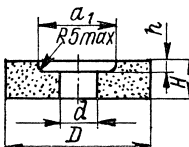
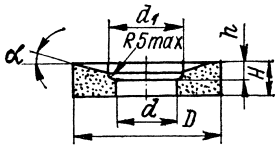
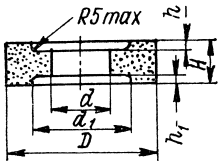
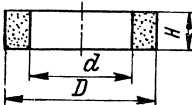
Разновидности инструмента. Шлифовальные круги общего назначения. В табл. 14.9 приведены типы и размеры шлифовальных кругов (кроме алмазных и эльборовых) на керамической (К), бакелитовой (Б) или вулканитовой (В) связках по ГОСТ 2424—83.

Области применения шлифовальных кругов различной формы и их отличительные особенности приведены в табл. 14.10.

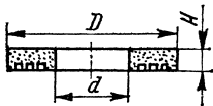
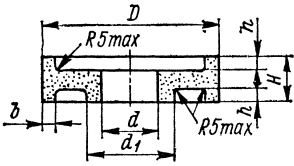
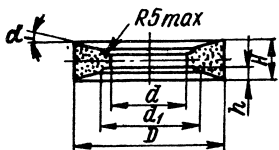
Твердость кругов — по ГОСТ 18118—79*, ГОСТ 19202—80, ГОСТ 21322—75*Е; класс точности кругов — АА, А или Б; зерновой состав — с индексами В и П для кругов класса АА; В; П и Н — для кругов класса А; В, П, Н и Д — для кругов класса Б; Классы неуравновешенности: 1 — для кругов класса АА; 1 и 2 — для кругов класса А; 1, 2 и 3 — для кругов класса точности Б.

Механическая прочность кругов должна обеспечивать работу при окружных скоростях: 30; 35; 40; 50; 60; 80 м/с (круг типа ПП); 30; 35; 40; 50; 60 м/с (круг типа ЧП); 25; 30; 35 м/с (круги типов ПН, К); 20; 25; 30 м/с (круги типов ЧК; ЧЦ; Т; 1Т); 15; 25; 30; 35; 50 м/с (прочие).

14.9. Шлифовальные круги на керамической, бакелитовой, вулканитовой связках (ГОСТ 2424—83)

Тип, наименование и основные размеры	Эскиз
<p>ПП — прямого профиля $D = 3 \div 1060$ мм, $H = 1 \div 250$ мм, $d = 1 \div 305$ мм</p>	
<p>2П — двухстороннего конического профиля $\alpha = 40$ или 60°, $D = 250 \div 500$ мм, $H = 10 \div 32$ мм, $d = 76 \div 203$ мм, $h = 4 \div 8$ мм</p>	
<p>3П — конического профиля $\alpha = 10; 15; 18; 20; 35; 45^\circ$, $D = 63 \div 500$ мм, $H = 10 \div 50$ мм, $d = 10 \div 203$ мм, $h = 5 \div 25$ мм</p>	
<p>ПВ — с выточкой $D = 10 \div 600$ мм, $H = 13 \div 100$ мм, $d = 3 \div 305$ мм, $d_1 = 5 \div 424$ мм, $h = 6 \div 30$ мм</p>	
<p>ПВК — с конической выточкой $\alpha = 10; 15; 20^\circ$, $D = 300 \div 750$ мм, $H = 50$ или $H = 80$ мм, $d = 127 \div 305$ мм, $h = 25; 35$ мм</p>	
<p>ПВД — с двухсторонней выточкой $D = 100 \div 900$ мм, $H = 25 \div 250$ мм, $d = 32 \div 305$ мм, $d_1 = 88 \div 315$ мм, $h = 8 \div 40$ мм, $h_1 = 8 \div 85$ мм</p>	
<p>К — кольцевые $D = 200$ или $D = 300$ мм, $H = 80 \div 160$ мм, $d = 76 \div 250$ мм</p>	

Тип, наименование и основные размеры							Эскиз	
ЧЦ — чашечные цилиндрические								
D, мм	40	50	80	100	125	150		
H, мм	25	32	40	50	63	80		
d, мм	13		20		32; 51			
d ₁ , мм	32	40	50; 65	80	100	125		
h, мм	20	25	32	25; 40	50	65		
D, мм	200			250		300		
H, мм	40	63	80	100				
d, мм	51; 32	76		127; 150	127			
d ₁ , мм	165			125; 195; 200	250			
h, мм	27; 50		48; 75		75			
ЧК — чашечные конические								
D, мм	50	80	100	125				
H, мм	25	32	40	25	40	45		50
d, мм	13	20		32		20; 32		
d ₁ , мм	40	65	80	84	100	88		
D, мм	150		250	300				
H, мм	40	50	140	150				
d, мм	32		100	150				
d ₁ , мм	120	130	190	230				
$h = 16 \div +110$ мм, $\alpha = 50 \div 80^\circ$, $\alpha_1 = 45 \div 80^\circ$								
Т — тарельчатые								
D, мм	80	100	125	150	200	250		
H, мм	8	10	13	16	20	25		
d, мм	13	20	32					
d ₁ , мм	30	40	50	60	80	100		
h, мм	3	4	5	6	8	10		
h ₁ , мм	2	3	4	4	4	6		
$b = 4 \div 13$ мм; $\alpha = 15^\circ$								
1Т — тарельчатые								
D, мм	100	150	200	250	300	350		
H, мм	10	16	20	25	20; 25	40		
d, мм	20	32			127			
d ₁ , мм	40	80; 60	80	180	185	200		
h, мм	4	6	8	10	—	—		
h ₁ , мм	2; 3	2; 4	4	5; 6	2	—		
$\alpha = 15; 30; 45^\circ$ $\alpha_1 = 7; 10^\circ$								

<p>Тип, наименование и основные размеры</p>	
<p>ПН — с запрессованными крепежными элементами $D = 400 \div 600$ мм, $H = 500 \div 75$ мм, $d = 160 \div 305$ мм</p>	
<p>ПВДС — с двухсторонней выточкой и ступицей $D = 150 \div 300$ мм, $H = 8 \div 20$ мм, $d = 32 \div 127$ мм, $d_1 = 65; 125; 180$ мм, $h = 2 \div 6$ мм, $b = 6; 8; 10$ мм</p>	
<p>ПВДК — с двухсторонней конической выточкой $D = 150$ мм, $H = 80$ мм, $d = 305$ мм, $d_1 = 500$ мм, $h = 16$ мм, $\alpha = 5^\circ$</p>	
<p>Примечание. Круги выпускаются из шлифовальных материалов зернистостью: электрокорунд (18А; 15А; 14А; 13А; 12АР) — 50—4, белый корунд (25А; 24А; 23А) и карбид кремния зеленый (64С; 63С) — 50—М10, хромотитанистый электрокорунд (94А; 93А; 92А; 91А) — 50—6, монокорунд (45А; 44А; 43А) и карбид кремния черный (55С; 54С; 53С) — 50—5.</p>	

14.10. Области применения шлифовальных кругов различного профиля

Тип круга	Область применения
<p>ПП ПВ; ПВК; ПВДК; ПВД ПН 2П; 3П К ЧЦ, ЧК Т; 1Т</p>	<p>Круглое наружное шлифование изделий при $D < 1000$ мм. Круглое внутреннее шлифование отверстий при $D \leq 150$ мм. Бесцентровое шлифование деталей при $D \leq 600$ мм. Плоское шлифование периферией круга. Заточка инструментов, резбо-, шлице-, зубошлифование То же, но с возможностью более прочного закрепления во фланцах, уменьшения площади соприкосновения боковой поверхности с буртиками и фланцами изделий, возможностью подрезания торцов, буртиков, уступов Обдирочное шлифование Заточка многолезвийных инструментов, шлифование зубьев шестерен, резбошлифование Плоское шлифование Заточка инструментов, плоское шлифование Заточка и доводка передних граней зубьев фрез, заточка червячных фрез, обработка зубьев долбяков</p>

Маркировка кругов должна включать товарный знак предприятия-изготовителя, условное обозначение круга (табл. 14.11), окружную скорость круга без указания единицы (м/с), номер партии.

Типы, размеры и обозначения *эльборовых и алмазных кругов* приведены в табл. 14.12. Механическая прочность кругов из эльбора должна обеспечивать работу при окружных скоростях 35; 40 и 50 м/с.

Маркировка кругов диаметром более 200 мм из эльбора должна включать: товарный знак предприятия-изготовителя, тип, размер круга по ГОСТ 17123—79*Е, марку эльбора, зернистость, степень твердости кругов на керамической связке, марку связки кругов на керамической связке К, окружную скорость круга (кроме 35 м/с) на керамической связке, относительную концентрацию эльбора (100 %-ная концентрация не маркируется), номер партии (или круга), обозначение стандарта. В маркировку кругов диаметром 50—2000 мм входят: зернистость, твердость, относительная 100 %-ная концентрация. Пример условного обозначения (без знака предприятия) приведен в табл. 14.11.

Алмазные круги * должны иметь маркировку, которая содержит: товарный знак предприятия-изготовителя, марку и зернистость алмазного порошка, относительную концентрацию алмазов, марку связки, номер круга, последние две цифры года изготовления. Пример условного обозначения кругов дан в табл. 14.11. Рекомендуются зернистость и области применения алмазных и эльборовых кругов различной формы приведены в табл. 14.13 и табл. 14.14.

Оценка режущей способности шлифовальных кругов производится в зависимости от следующих факторов.

Шлифовальных кругов (ГОСТ 2424—83) — по режущей способности кругов Q_N [$\text{мм}^3/(\text{мин} \cdot \text{мм})$], приведенной к единице высоты круга, и по коэффициенту шлифования K :

$$Q_N = \frac{W_m}{t_m B_K},$$

где W_m — объем снятого металла, мм^3 ; t_m — машинное время шлифования, мин; B_K — высота круга, мм;

$$K = W_m / W_a,$$

где W_a — объем изношенной (с учетом расхода на правку) части шлифовального круга, мм^3 . В зависимости от вида работ, режимов обработки, приведенных в стандарте, $Q_N \geq 50 \div 150$; $K \geq 2,5 \div 12$.

Эльборовых кругов (ГОСТ 24106—80*Е) — по коэффициенту шлифования, равному отношению массы снятого материала

* Механическая прочность алмазных кругов должна обеспечивать работу при скоростях, приведенных в табл. 14.36.

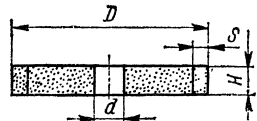
14.11. Примеры условного обозначения абразивного инструмента

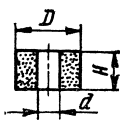
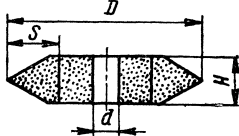
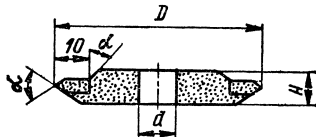
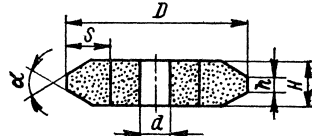
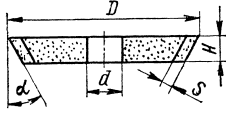
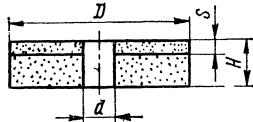
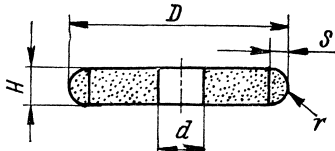
Характеристика инструмента	Условное обозначение
<p>Круг шлифовальный типа ПП с размерами $D \times d \times H$, мм, из белого электрокорунда марки 24А, зернистостью 10-П, степенью твердости С2, со структурой № 7, на керамической связке К5, с рабочей скоростью 35 м/с, класс точности А, 1-го класса неуравновешенности (ГОСТ 2424—83)</p>	<p><i>ПП $D \times H \times d$ 24А 10-П С2 7 К5 35 м/с А1 кл. ГОСТ 2424—83</i></p>
<p>Круг эльборовый типа 1Е1 с размерами $D \times H \times d$, мм, толщиной эльбороносного слоя S, из эльбора</p>	<p><i>1Е1 $D \times H \times d \times S$ ГОСТ 17123—79*Е</i></p>
<p>Круг алмазный формы 1А1 с размерами $D \times H \times d \times C$</p>	<p><i>2720-0139 ГОСТ 16167—80</i></p>
<p>Головка шлифовальная типа АW диаметром D, высотой H из белого электрокорунда марки 24А, зернистостью 25-Н, степени твердости СТ1, со структурой № 6, на керамической связке К, с рабочей скоростью 35 м/с, класса точности А</p>	<p><i>AW $D \times H$ 24А 25-Н СТ1 6 К А 35 м/с ГОСТ 2447—82</i></p>
<p>Головка шлифовальная алмазная формы АГЦ с размерами $D = 16$ мм, $H = 13$ мм</p>	<p><i>2748-0001 ГОСТ 17116—71*</i></p>
<p>Брусok шлифовальный типа БП с размерами $B \times H \times L$ из зеленого карбида кремния марки 63С, зернистостью 6-Н, степени твердости С2, со звуковым индексом 33, структурой № 7, на бакелитовой связке Б, класса точности А</p>	<p><i>БП $B \times H \times L$ 63С 6-Н С2-337 БА ГОСТ 2456—82</i></p>
<p>Брусok хонинговальный алмазный (ГОСТ 5.1826—73*) размерами $B \rightarrow H \times L \times r$, из синтетических алмазов марки АС4, зернистостью 160/125, на металлической связке со 100 %-ной концентрацией алмазов, марки М1</p>	<p><i>Брусok 2768-0123 АСУ 160/125-100-М1 ГОСТ 5.1826—73*</i></p>
<p>Сегменты шлифовальные типа 5С с размерами $B \times H \times L$, из нормального электрокорунда марки 14А, зернистостью 40-Н, степени твердости С1, со звуковым индексом 33, структурой № 6, на бакелитовой связке Б, класса точности А</p>	<p><i>5С $B \times H \times L$ 14А 40-Н С1-33 65А ГОСТ 2464—82*</i></p>

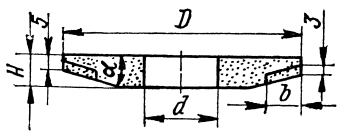
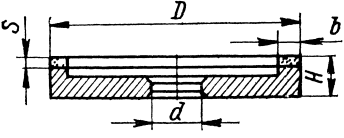
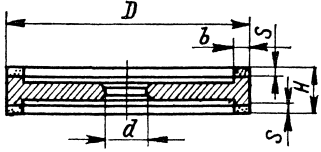
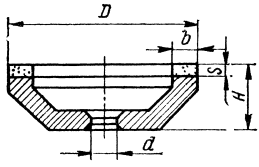
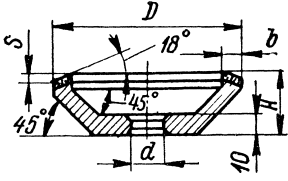
Характеристика инструмента	Условное обозначение
Шкурка водостойкая тканевая (ГОСТ 13344—79*) двухслойная типа 2 со шлифующим материалом, нанесенным электростатическим способом, шириной B (мм), длиной L (м), на тканевой основе из гладкокрашенной утяжеленной саржи № 1, из карбида кремния зеленого марки 63С, зернистостью 40-Н (1-й слой) и 25-П, на смоле СФЖ, класса А	<i>Шкурка Д2Э В×L У1Г 63С 40-Н/25-П СФЖ А ГОСТ 13344—79*</i>
Шкурка водостойкая бумажная (ГОСТ 10054—82) шириной B (мм), длиной L (м), из карбида кремния зеленого марки 64С, зернистостью 16-П, класса А	<i>Водостойкая В×L 64С 16-П А ГОСТ 10054—82</i>
Шкурка неводостойкая тканевая (ГОСТ 5009—82) типа 1 с абразивным материалом, нанесенным электростатическим способом, шириной B (мм), длиной L (м), на тканевой основе марки ЛОГ, из электрокорунда марки 15А, зернистостью 5-Н, на мездровом клее, класса А	<i>1ЭВ×L ЛОГ 15А 5-Н МА ГОСТ 5009—82</i>
Шкурка неводостойкая бумажная (ГОСТ 6456—82*) типа 1 с абразивным материалом, нанесенным электростатическим способом, шириной B (мм), длиной L (м), на бумажной основе 0-200 (П2), из электрокорунда марки 15А, зернистостью 25-Н, на мездровом клее, класс А	<i>Шкурка 1Э В×L П2 15А 25-Н МА ГОСТ 6456—82*</i>
Шкурка шлифовальная алмазная (ТУ2-037-88—78) с размерами L (м), B (мм), из синтетических алмазов марки АС6, зернистостью 100/80	<i>Шкурка L×B АС6 100/80 ТУ2-037-88—78</i>
Шкурка шлифовальная эльборовая (ОСТ 2И74-6—77) типа ЭС, шириной B (мм), длиной L (м), из эльбора марки ЛО, зернистостью 160/125	<i>Шкурка ЭС В×L ЛО 160/125 ОСТ 2И74-6—77</i>
Лист шлифовальный (ГОСТ 22773—77*) с размерами $B×L$, из электрокорунда марки 15А, зернистостью 16-Н, из шлифовальной шкурки класса А (ГОСТ 6456—82*) на бумажной основе 0-200 (П2), класса Б	<i>ЛВ×L 15А16—НА П2Б ГОСТ 22773—77*</i>

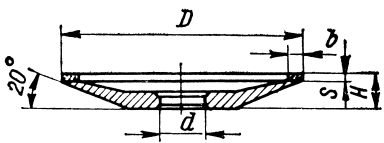
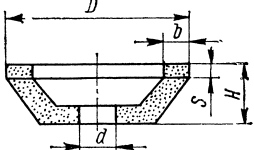
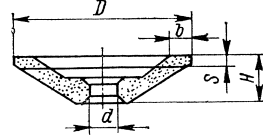
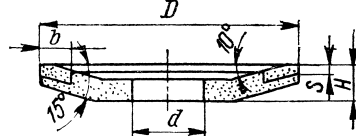
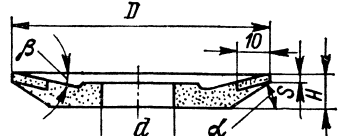
Характеристика инструмента	Условное обозначение
Диск шлифовальный с отверстием d , размерами $D \times d$, из карбида зеленого марки 63С, зернистостью 6-П, из шлифовальной шкурки класса Б (ГОСТ 6456—82*), на бумажной основе 0-200 (П2), класса А	<i>Д0 D×d 63С 6-П Б1 П2 А ГОСТ 22773—77*</i>
Круг шлифовальный лепестковый (ГОСТ 22775—77) из шкурки класса А (ГОСТ 5009—82), с размерами $D \times H \times d$, мм, из электрокорунда марки 15А, зернистостью 5-П, на сарже С2Г, класс А	<i>КЛО D×H×d 15А 5-П А2С2ГА ГОСТ 22775—77</i>
Лента шлифовальная бесконечная исполнения 1, шириной B (мм), длиной L (мм), из электрокорунда марки 15А, зернистостью 25-Н, из шкурки класса А (ГОСТ 5009—82), на саржевой основе марки У2Г, класса Б	<i>ЛБ В×L 15 А 25-Н А2 У2ГБ</i>
Алмазная (А) лента (Л) полировальная (П) с шириной алмазного слоя B , из порошков марки АС2, зернистостью 63/50, со 100 %-ной концентрацией, на каучукосодержащей связке Р9	<i>АЛП В АС2 63/50-100-Р9 ТУ2-037-198—77</i>
Диск фибровый (ГОСТ 8692—82) типа 1, с размерами $D \times d$, из электрокорунда марки 15А, зернистостью 16-П на бакелитовой связке, класса А	<i>1 D×d 15А-16-ПБА ГОСТ 8692—82</i>
Алмазный (А) эластичный (Е) диск (Д) с размерами 200×60 мм, из порошков синтетических алмазов марки АС2, зернистостью 80/63, со 100 %-ной концентрацией алмазов, на каучукосодержащей связке марки Р1	<i>АЕД 200×600 АС2 80/63-100-Р1 ТУ2-037-197—73</i>

14.12. Эльборовые (ГОСТ 17123—79) и алмазные шлифовальные круги на органической, керамической и металлической связках

Тип, наименование, основные размеры	Эскиз
<p>Алмазные (ГОСТ 16167—80) типа 1А1 — плоские прямого профиля $D = 16 \div 500$ мм, $H = 2 \div 100$ мм, $d = 6 \div 203$ мм, $S = 2 \div 6$ мм</p> <p>Эльборовые типа 1А1, исполнение 1 (без выточек на корпусе) $D = 25 \div 500$ мм, $H = 4 \div 50$ мм, $d = 6 \div 305$ мм, $S = 5 \div 20$ мм</p> <p>Эльборовые типа 1А1, исполнение 2 $D = 100 \div 250$ мм, $H = 5 \div 25$ мм, $d = 20 \div 127$ мм, $S = 3 \div 5$ мм</p>	

Тип, наименование, основные размеры	Эскиз
<p>Алмазные (ГОСТ 16168—80Е) типа А8 — плоские прямого профиля без корпуса $D = 6 \div 13$ мм, $H = 6 \div 10$ мм, $d = 2 \div 4$ мм</p> <p>Эльборовые типа А8 $D = 1 \div 22$ мм, $H = 0,8 \div 25$ мм, $d = 0,5 \div 8$ мм</p>	
<p>Эльборовые типа 1Е1 — плоские с двухсторонним коническим профилем $D = 25 \div 150$ мм, $H = 8; 10$ мм, $d = 8 \div 51$ мм, $S = 10; 15$ мм, $\alpha = 40; 60^\circ$</p>	
<p>Эльборовые типа 1Е6 — плоские с двухсторонним коническим профилем $D = 75 \div 500$ мм, $H = 6 \div 13$ мм, $d = 20 \div 305$ мм, $h = 3 \div 6$ мм, $\alpha = 45; 55; 60^\circ$</p>	
<p>Эльборовые типа 1Д1 — плоские с двухсторонним коническим профилем $D = 60 \div 500$ мм, $H = 10 \div 20$ мм, $d = 13 \div 305$ мм, $S = 15 \div 25$ мм, $\alpha = 15; 30; 40; 60^\circ$</p>	
<p>Эльборовые типа 1V1 плоские с односторонним коническим профилем $D = 100 \div 250$ мм, $H = 8 \div 32$ мм, $d = 32; 76$ мм, $S = 5 \div 15$ мм, $\alpha = 15; 20; 30^\circ$</p>	
<p>Эльборовые типа 1А2 — плоские прямого профиля $D = 400$ мм, $S = 5$ мм, $d = 160; 127$ мм, $H = 5; 10; 15; 20$ мм</p>	
<p>Эльборовые типа 1F1X — плоские с полукругло-выпуклым профилем $D = 35 \div 135$ мм, $H = 5 \div 29$ мм, $d = 10 \div 32$ мм, $S = 5 \div 12,5$ мм, $r = 5 \div 17$</p>	

Тип, наименование, основные размеры	Эскиз
<p>Эльборовые типа 4V9 профильные $D = 200; 250$ мм, $H = 16; 20$ мм, $d = 32; 50,8$ мм, $b = 3; 12; 16; 25$ мм, $\alpha = 15; 20^\circ$</p>	
<p>Алмазные (ГОСТ 16170—81Е) типа 6А2 — плоские с выточкой $D = 50 \div 300$ мм, $H = 22 \div 33$ мм, $d = 16 \div 127$ мм, $b = 3 \div 60$ мм, $S = 2 \div 6$ мм Эльборовые типа 6А2 — плоские с выточкой $D = 75 \div 250$ мм, $H = 23 \div 30$ мм, $d = 20 \div 76$ мм, $S = 3 \div 50$ мм, $b = 5 \div 40$ мм</p>	
<p>Алмазные (ГОСТ 16171—81Е) типа 9А3 — плоские с двухсторонней выточкой $D = 100 \div 250$ мм, $H = 20 \div 37$ мм, $d = 51 \div 76$ мм; $S = 3 \div 4$ мм; $b = 6 \div 20$ мм Эльборовые типа 9А3 — плоские с двухсторонней выточкой $D = 100$ и 250 мм, $H = 20; 21$ мм, $d = 32; 76$ мм; $S = 3$ мм, $b = 3 \div 20$ мм</p>	
<p>Алмазные (ГОСТ 16172—80*Е) типа 12А2 — 45° — чашечные конические $D = 50 \div 250$ мм, $H = 19,5 \div 52$ мм, $d = 16 \div 76$ мм, $S = 3 \div 5$ мм, $b = 2 \div 20$ мм Эльборовые типа 12А2 — 45° — чашечные конические $D = 50 \div 200$ мм, $H = 20 \div 29$ мм, $d = 16 \div 32$ мм, $S = 3 \div 6$ мм, $b = 3 \div 20$ мм</p>	
<p>Алмазные (ГОСТ 16174—81Е) типа 12V5—45° — чашечные конические $D = 50 \div 150$ мм, $H = 20 \div 40$ мм, $d = 16 \div 51$ мм, $S = 3 \div 5$ мм, $b = 3 \div 6$ мм Эльборовые типа 12V5 — 45° — чашечные конические $D = 125; 150$ мм, $S = 3; 6$ мм, $H = 39; 41$ мм, $b = 3; 6$ мм</p>	

Тип, наименование, основные размеры	Эскиз
<p>Алмазные (ГОСТ 16175—81Е) типа 12А2—20° — тарельчатые $D = 50 \div 250$ мм, $H = 6 \div 23$ мм, $d = 10 \div 51$ мм, $S = 2$ мм; $b = 3 \div 10$ мм</p> <p>Эльборовые типа 12А2 — 20° — тарельчатые $D = 50 \div 200$ мм, $H = 10 \div 21,5$ мм, $d = 10 \div 51$ мм, $S = 1,5; 3$ мм, $b = 3 \div 10$ мм</p>	
<p>Эльборовые чашечные конические типа 11А2 $D = 75 \div 150$ мм, $H = 35; 50$ мм, $d = 20; 32$ мм, $b = 5; 10$ мм, $S = 3 \div 5$ мм</p>	
<p>Алмазные (ГОСТ 16177—82Е) типа 12V5 — 20° — тарельчатые $D = 32 \div 150$ мм, $H = 5 \div 16$ мм, $d = 10 \div 51$ мм, $S = 1 \div 3$ мм, $b = 1,5 \div 10$ мм</p> <p>Эльборовые типа 12V5 — 20° — тарельчатые $D = 50 \div 125$ мм, $H = 10; 11,5$ мм, $d = 16 \div 32$ мм, $S = 1,5; 3$ мм, $b = 3,5$ мм</p>	<p>См. тип 12V5 — 45°, но вместо угла 45° — угол 20°</p>
<p>Алмазные (ГОСТ 16176—82Е) типа 12V4 — тарельчатые $D = 50 \div 150$ мм, $H = 6 \div 16$ мм, $d = 16 \div 51$ мм, $S = 1,5 \div 3$ мм, $b = 1 \div 5$ мм</p> <p>Эльборовые типа 12R4 — тарельчатые $D = 75 \div 200$ мм, $H = 10 \div 20$ мм, $d = 20; 32$ мм, $S = 1,5 \div 5$ мм, $b = 2 \div 5$ мм</p>	
<p>Эльборовые типа 12R9 — тарельчатые $D = 100; 125; 150$ мм, $H = 10; 13; 16$ мм, $d = 20; 32$ мм, $b = 10; 15$ мм, $S = 2 \div 8$ мм</p>	
<p>Эльборовые типа 12V9 — тарельчатые $D = 220; 225; 275$ мм, $H = 20; 18; 20$ мм, $d = 40 \div 90$ мм, $S = 2 \div 8$ мм, $\alpha = 18; 20^\circ$, $\beta = 4,5; 10; 12; 15^\circ$</p>	

Тип, наименование, основные размеры	Эскиз
<p>Алмазные (ГОСТ 16178—82Е) типа 12D9 — тарельчатые $D = 125 \div 300$ мм, $H = 13 \div 25$ мм, $d = 32 \div 76$ мм, $b = 4 \div 60$ мм, $S =$ $= 2; 3$ мм</p>	
<p>Эльборовые типа 14A1 — плоские прямого профиля $D = 75; 100$ мм, $H = 6$ мм, $d =$ $= 20$ мм, $h = 3; 5$ мм</p>	
<p>Алмазные (ГОСТ 16179—82Е) типа 14EE1X — плоские с двухсторонним коническим профилем $D = 25 \div 400$ мм, $H = 3 \div 10$ мм, $d = 6 \div 203$ мм, $H_1 = 3 \div 6$ мм, $S =$ $= 2 \div 5$ мм, $\alpha = 30; 40; 60; 90; 120^\circ$ Эльборовые типа 14EE1X — плоские с двухсторонним профилем $D = 50; 125; 350; 400$ мм, $d = 16;$ $32; 127; 203$ мм, $S = 3; 5$ мм, $H =$ $= 5$ мм, $H_1 = 3$ мм, $\alpha = 35, 45;$ $60; 90^\circ$</p>	
<p>Алмазные (ГОСТ 16180—82Е) типа 1FF1X — плоские с полукруглым профилем $D = 50 \div 150$ мм, $H = 2 \div 32$ мм, $d = 16 \div 51$ мм, $R = 1 \div 16$ мм, $S =$ $= 2 \div 7$ мм</p>	
<p>Алмазные (ГОСТ 16169—81Е) типа 14U1 — плоские прямого профиля трехсторонние $D = 125 \div 250$ мм, $H = 10 \div 20$ мм, $S = 2; 3$ мм, $d = 32 \div 76$ мм</p>	
<p>Примечания. 1. Алмазосодержащий слой алмазных кругов состоит из порошков алмазов марок и зернистостью: на органической связке АС2 160/125; АСМ (АСН) 5/3; АС4 200/160; АСМ (АСН) 5/3; АС6 250/200; АСМ (АСН) 5/3; на керамической связке А3 250/200—АМ 5/3 (АН 5/3); АС4 200/160—АСМ (АСН) 5/3; на металлической связке А1; А2; А3 400/315—А1; А2; А3 400/315—АСМ (АСН) 5/3; АС4 200/160—АСМ (АСН) 5/3; АС6 250/200—АСМ (АСН) 5/3; АС15; АС20; АС32 400/315—АСМ (АСН) 5/3. 2. Эльборосодержащий слой эльборовых кругов должен изготавливаться из эльбора марок: ЛО; ЛП; ЛД; ЛОМ; ЛОС, зернистостью 250/200—14/10; твердостью М3; СМ1; СМ2; С1; С2; СТ1; СТ2; СТ3; Т1; Т2 для кругов на керамической связке и 250/200—3/2 для кругов на органической связке. 3. Твердость остальных кругов определяется рецептурой</p>	

14.13. Рекомендуемая зернистость алмазных кругов для различных условий обработки

Вид и марка связки	Зернистость	Шероховатость обработанной поверхности R_a , мкм		
		Торцовое шлифование и заточка	Плоское шлифование периферий круга	Круглое шлифование
Органическая: БП2, Б156, ТО2, Б2 (с металлическим наполнителем) Б1, 01 (алмазы с покрытием) Б1, Б3, БР, Р1, Р9, Р14Е (алмазы без покрытий)	200/160—100/80	0,63—0,16	1,0—0,32	1,0—0,32
	80/63—50/40	0,32—0,16	0,63—0,2	0,63—0,2
	125/100—50/40	0,32—0,10	0,63—0,16	0,8—0,2
	125/100—20/14	0,32—0,05	0,5—0,1	0,63—0,125
Металлическая: МВ1, ПМ1 (повышенной производительности) МК, М15, М1, М (повышенной стойкости)	200/160—125/100	1,0—0,32	1,25—0,63	1,25—0,63
	100/80—80/63	0,5—0,16	1,0—0,32	1,25—0,4
	63/50—50/40	0,32—0,16	0,63—0,16	0,63—0,32
	250/200—125/100	1,0—0,32	1,25—0,63	1,25—0,63
	100/80—80/63	0,5—0,16	1,0—0,32	1,25—0,4
Керамическая К1 Для электролитического шлифования:	63/50—50/40	0,32—0,16	0,63—0,16	0,63—0,32
	160/125—60/63	0,8—0,32	1,25—0,32	1,25—0,32
МВ1, ПМ1, МК, М15, М1, М (металлические) БПЗ (органическая токопроводная)	200/160—125/100	1,25—0,32	2,0—0,63	2,0—0,63
	100/80—80/63	0,63—0,20	1,25—0,63	1,25—0,63
	160/125—100/80	0,5—0,1	0,63—0,16	0,63—0,16
	80/63—50/40	0,16—0,05	0,32—0,08	0,32—0,08

14.14. Рекомендуемые области применения алмазных и эльборовых кругов различной формы

Тип круга	Назначение
1А1 (стандартный)	Обработка цилиндрических и плоских поверхностей на внутри-, кругло- и плоскошлифовальных станках
1А1 (специальный на металлической связке)	Бесцентровое шлифование твердосплавных материалов
А8	Обработка внутренних цилиндрических поверхностей
6А2; 9А3; 11А2 12А2;	Заточка и доводка инструмента
14V1	
11V9	Заточка и доводка фрез со вставными ножами
12V5	Заточка и доводка по задним поверхностям режущего инструмента со спиральным зубом
12R4	Заточка и доводка передней поверхности многолезвийного прямозубого инструмента
12D9	Заточка и доводка червячных фрез по передним поверхностям
14EE1X; 1D1; 1E1;	Шлифование и доводка фасонных поверхностей,
1E6Q	шлифование резьбы
1FF1X; 1F1X; 14A1	Обработка стружколомающих канавок, шлифование фасонных поверхностей

к массе израсходованного эльбора. Значение коэффициента не менее 80 (для различных видов обработки и режимов работ).

Алмазных кругов (ГОСТ 16181—82* Е) — по удельному расходу алмазов q (мг/см³) и режущей способности Q (мм³/мин):

$$q = \frac{G_{\text{к}}}{G_{\text{м}}} \alpha \gamma,$$

где $G_{\text{к}}$ — износ круга по массе за испытание, мг; $G_{\text{м}}$ — масса материала образца, сошлифованная за испытание, г; α — коэффициент, учитывающий связки и концентрацию алмаза; γ — плотность обрабатываемого материала, г/см³.

При работе торцом круга $Q = h_{\text{пл}} S_{\text{поп}} S_{\text{прод}} \cdot 10^3$, при работе периферией круга $Q = t S_{\text{поп}} S_{\text{прод}} \cdot 10^3$, где $h_{\text{пл}}$ — высота обрабатываемой пластины, мм; $S_{\text{поп}}$ — поперечная подача, мм/дв. ход; $S_{\text{прод}}$ — продольная подача, м/мин; t — глубина резания, мм.

Удельный расход алмазов не менее 3,0—40 мг/см³. Режущая способность — 60—600 мм³/мин.

Специальные круги. *Круги резбошлифовальные* (ГОСТ 5.2166—74*) из эльбора на керамической связке. По форме соответствуют кругам типа TEGQ. Выпускаются следующих размеров: $D = 350$ мм или $D = 400$ мм, $H = 8$ мм или $H = 10$ мм, $d = 160$ мм или $d = 203$ мм, $h = 3$ мм или $h = 4$ мм.

Режущий материал — эльбор марки ЛО, зернистость — 60/40 — 40/25, концентрация — 100 %, твердость — СТ3 или Т1, допустимая скорость — 40 м/с. Условное обозначение круга диаметром 350 мм:

Круг 2727-0121 К ГОСТ 5.2166—74.*

В маркировку входят условное обозначение, марка и зернистость эльбора, концентрация, марка связки, твердость, масса эльбора в каратах, номер структуры, допустимая рабочая скорость, номер круга, год изготовления, обозначение стандарта.

Круги отрезные (ГОСТ 21963—82) на вулканитовой (В), бакелитовой (Б) связках с упрочняющими (У) элементами или без них. Выпускаются следующих размеров: $D = 50 \div 1500$ мм, $d = 10 \div 150$ мм, $H = 0,3 \div 15$ мм. Зернистость приведена в табл. 14.15. Твердость отрезных кругов на вулканитовой связке — СТ и Т, на бакелитовой — СМ2; С1; С2; СТ1; СТ2; СТ3; Т1; Т2; ВТ1; ВТ2. Предельно допустимая скорость кругов на вулканитовой связке и без упрочняющих элементов кругов на бакелитовой связке составляет 50 и 60 м/с соответственно, кругов с упрочняющими элементами на бакелитовой связке — до 100 м/с.

Круги алмазные шлифовальные для обработки неперетачиваемых пластин из твердого сплава (ТУ 2-037-238—78). По форме соответствуют тарельчатым кругам. Выпускаются следующих размеров: $D = 350$ мм, $d = 135$ мм, $H = 35$ мм, $b = 6 \div 35$ мм, $S = 4$ мм. Изготавливаются из алмазных порошков марок АС4—АС6, зернистостью 80/63—125/100, на органической связке БП2.

14.15. Зернистость отрезных кругов

Шлифовальный материал		Зернистость кругов на связках	
Вид	Марка	бакелитовой	вулканитовой
Нормальный электрокорунд	15А 14А; 13А	50—12 125—12	50—6
Белый электрокорунд Хромтитанистый электрокорунд Карбид кремния черный	25А; 24А 94А; 93А; 92А; 91А 55С; 54С; 53С	80—5 125—16 160—16	—

Концентрация алмазов 50 или 100 %. Пример условного обозначения круга с толщиной алмазоносного слоя $b = 10$ мм:

1842-2003 ТУ2-037-238—78.

Г о л о в к и ш л и ф о в а л ь н ы е. Предназначены для обработки внутренних поверхностей различных форм и размеров. Основные типы, размеры и обозначения головок приведены в табл. 14.16. Зерновой состав головок из шлифующих материалов по ГОСТ 3647—80 — с индексом не ниже Н для класса точности А и с индексами П, Н, D — для класса точности Б. Твердость головок С1—С2.

Механическая прочность головок должна обеспечивать их работу при скоростях 25, 35, 50 м/с. Условные обозначения головок приведены в табл. 14.11.

Режущая способность головок определяется по коэффициенту шлифования, который при обработке стали 40Х головками из материала 24А, зернистостью 16 должен быть не менее 2,5.

Головки алмазные на органических связках изготавливаются из алмазных порошков с размерами зерен 200—40 мкм, головки на металлических связках — из алмазных порошков с размерами зерен 200—28 мкм. Режущая способность головок определяется удельным расходом алмазов q (мг/г) по формуле:

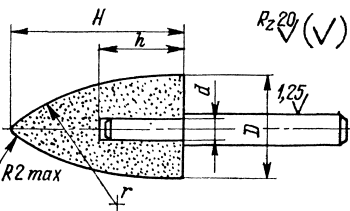
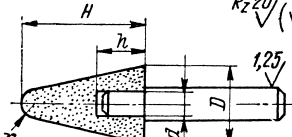
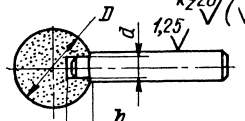
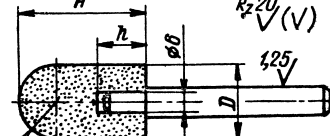
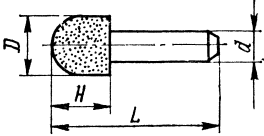
$$q = \frac{G_r}{G_m} \alpha,$$

где G_r — износ алмазоносного слоя, мг; G_m — масса сошлифованного материала, г; α — коэффициент, учитывающий плотность связки и концентрацию алмазов.

Головки эльборовые изготавливаются гальваническим способом из порошков эльбора марки ЛП с размерами зерен 160—40 мкм.

14.16. Головки шлифовальные

Тип, наименование, основные размеры	Эскиз
<p style="text-align: center;"><i>Цилиндрические</i></p> <p>AW (ГОСТ 2447—82). $D = 3 \div 40$ мм, $H = 6 \div 60$ мм, $d = 1 \div 13$ мм, $h = 3 \div 32$ мм АГЦ — алмазные (ГОСТ 17116—71*). $D = 3 \div 20$ мм, $H = 3 \div 20$ мм, $d = 3 \div 8$ мм, $L = 40 \div 80$ мм АГЦ — алмазные (ТУ2-037-121—77). $D = 0,6 \div 20$ мм, $H = 2 \div 20$ мм, $d = 3 \div 8$ мм, $L = 32 \div 100$ мм ЛГЦ — эльборовые. $D = 3 \div 20$ мм, $H = 3 \div 20$ мм, $d = 3 \div 8$ мм, $L = 40 \div 80$ мм</p>	
<p style="text-align: center;"><i>Угловые</i></p> <p>DW (ГОСТ 2447—82). $D = 12 \div 40$ мм, $H = 6 \div 10$ мм, $h = 3; 6$ мм АГУ — алмазные (ГОСТ 17117—71*). $D = 6 \div 20$ мм, $H = 3 \div 15$ мм, $d = 3 \div 8$ мм, $L = 40 \div 80$ мм АГУ — алмазные (ТУ2-037-121—74). $D = 6 \div 20$ мм, $H = 1,5 \div 11$ мм, $d = 3; 6$ мм, $L = 40 \div 80$ мм</p>	
<p style="text-align: center;"><i>Конические</i></p> <p>EW (ГОСТ 2447—82). $D = 10 \div 32$ мм, $H = 25 \div 50$ мм, $d = 3; 6$ мм, $h = 15 \div 20$ мм АГК — алмазные (ГОСТ 17118—71*). $D = 6 \div 20$ мм, $H = 6 \div 18$ мм, $d = 3 \div 8$ мм, $L = 40 \div 80$ мм АГК — алмазные (ТУ2-037-121—71). $D = 6 \div 20$ мм, $d = 3 \div 8$ мм, $L = 40 \div 80$ мм</p>	
<p style="text-align: center;"><i>Конические усеченные</i></p> <p>АГКу — алмазные (ГОСТ 17119—71*). $D = 6 \div 20$ мм, $H = 4 \div 12$ мм, $d = 3 \div 8$ мм, $L = 40 \div 80$ мм ЛГК — эльборовые. $D = 6 \div 20$ мм, $H = 4 \div 12$ мм, $d = 4 \div 12$ мм, $L = 40 \div 80$ мм</p>	

Тип, наименование, основные размеры	Эскиз
<p><i>Сводчатые</i></p> <p>F-1W (ГОСТ 2447—82). $D = 6 \div 38$ мм, $H = 10 \div 50$ мм, $d = 2 \div 10$ мм, $R = 12 \div 65$ мм, $r = 2$ мм, $h = 6 \div 10$ мм АТС_В — алмазные (ГОСТ 17120—71*). $D = 6 \div 20$ мм, $H = 9 \div 24$ мм, $d = 3 \div 8$ мм, $R = 12 \div 29$ мм, $r = 1,5 \div 3,5$ мм, $L = 60; 80$ мм АГС_В — алмазные (ТУ2-037-121—74). $D = 1,5 \div 8$ мм, $H = 3 \div 14$ мм, $d = 3; 6$ мм, $L = 40; 60$ мм, $R = 4 \div 15$ мм</p>	
<p><i>Конические с закругленной вершиной</i></p> <p>KW (ГОСТ 2447—82). $D = 16 \div 40$ мм, $H = 16 \div 60$ мм, $d = 6; 13$ мм, $r = 2 \div 5$ мм, $h = 6 + 32$ мм</p>	
<p><i>Шаровые</i></p> <p>F-2W (ГОСТ 2447—82). $D = 10 \div 32$ мм, $d = 3; 6$ мм, $h = 4 \div 13$ мм АГШ — алмазные (ТУ2-037-121—74). $D = 2 \div 24$ мм, $d = 3 \div 8$ мм, $L = 40 \div 80$ мм</p>	
<p><i>Шаровые с цилиндрической боковой поверхностью</i></p> <p>FW (ГОСТ 2447—82). $D = 16; 20; 25$ мм, $H = 20; 32; 25$ мм, $h = 8; 13; 10$ мм, $r = 8; 10; 12,5$ мм</p>	
<p><i>Полушаровые</i></p> <p>АГПШ — алмазные (ГОСТ 17121—71*). $D = 6 \div 20$ мм, $H = 6 \div 14$ мм, $d = 3 \div 8$ мм, $L = 40 \div 80$ мм АГПШ — алмазные (ТУ2-037-121—74). $D = 1 \div 12$ мм, $d = 3; 6$ мм, $H = 3 \div 12$ мм, $L = 32 \div 60$ мм АГПШ — эльборовые. $D = 6 \div 20$ мм, $d = 3 \div 8$ мм, $H = 6 \div 14$ мм, $L = 40 \div 80$ мм</p>	
<p>Примечания: 1. Головки изготавливаются из карбида кремния зеленого марок 64С и 63С, зернистостью 40—16; из белого электрокорунда марок 25А и 24А, зернистостью 40—6 на керамической связке; из алмазных порошков марки АС4 на органической связке, зернистостью 200—40, на металлической связке, зернистостью 200—28, 50 или 100 %-ной концентрации, из зерен эльбора марки ЛП, зернистостью 160—40 мкм. 2. Алмазные головки по ТУ изготавливаются гальваническим способом.</p>	

Сегменты шлифовальные. Предназначены для обработки различных материалов. Конструкция и размеры патронов под крепление сегментов определены конструкцией патрона станка. Основные разновидности и размеры сегментов приведены в табл. 14.17. Сегменты изготавливаются двух классов точности А и Б. Их твердость регламентирует ГОСТ 18118—79. Условное обозначение приведено в табл. 14.11. Коэффициент шлифования сегментов $5С60 \times 16 \times 125$ с характеристикой 14А40 СМ1 должен быть не менее 1, а шероховатость $R_a \leq 2,5$ мкм при обработке стали Р6М5 ($v = 25 \div 30$ м/с, $S = 0,1 \div 0,5$ мм/мин, $t = 0,2 \div 0,3$ мм, охлаждение — эмульсия).

Бруски шлифовальные. Предназначены для суперфиниширования, хонингования (бруски БКв, БП, БТ), правки кругов или для ручной обработки (остальные типы). Основные типы и размеры брусков приведены в табл. 14.18. Зерновой состав — по ГОСТ 3647—80 (для брусков из обычных абразивных материалов). Класс точности брусков А или Б. Твердость брусков — по ГОСТ 18118—79*, твердость брусков эльборовых С1—Т2 или М1—Т2.

Условное обозначение брусков приведено в табл. 14.11.

Коэффициент шлифования брусков твердостью С2 составляет 0,9—2,6 (зернистость 4—12).

Абразивный инструмент на гибкой основе. Включает в себя шлифовальную шкурку и изделия из нее, эластичные круги, высокопористые эластичные круги, круги полировальные из тканевых материалов и корда.

Характеристики шлифовальных шкурок. Предназначены для машинной или ручной обработки с применением или без применения СОЖ. Состоят из основы — ткани, бумаги, фибры, металлической ленты и нанесенных при помощи связки шлифующих материалов, в качестве которых используются порошки алмаза, эльбора или других шлифующих материалов.

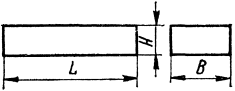
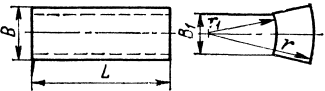
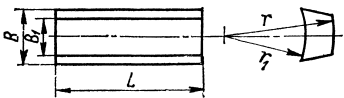
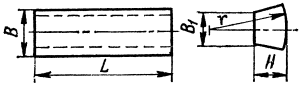
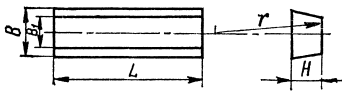
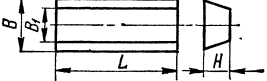
Бумажная основа — бумага (ГОСТ 18277—72*) марок от 0—140 (П1) до 0—240 (П5); бумага (ГОСТ 6456—82*) марок от БШ 140 (П6) до БШ 240 (П8); влагопрочная бумага (ГОСТ 10127—75*) марок ОВ—100, ОВ—110, ОВ—200; бумага марки ОВП—120 с полимерной пропиткой и латексным покрытием (цифры в составе марки указывают массу 1 м^2 бумаги).

Тканевая основа — саржа (ГОСТ 3357—72 и ГОСТ 19196—80*) марок ЛО, ЛОГ, Л1, Л2, Л2Г, С1, Л1Г, С2, С2Г, У1, У1Г, У2, У2Г, П, СП, капрон, шифон или плащевая ткань.

Фибровая основа — фибра плотностью не более $1,22 \text{ г/см}^3$, толщиной 0,7—1 мм.

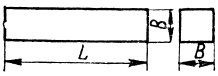
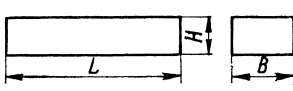
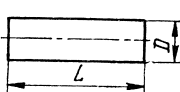
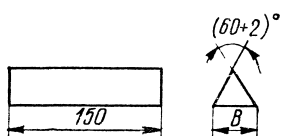
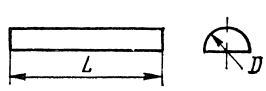
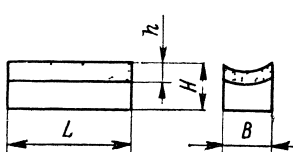
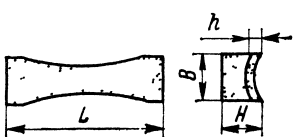
Тканевые, бумажные, комбинированные шкурки, предназначенные для работы без охлаждения или с применением СОЖ на основе масла, керосина, уайт-спирита изготавливают на основе мездрового клея или мездрового клея с фенолформальдегидными смолами. В качестве связки для бумажной водостойкой шкурки

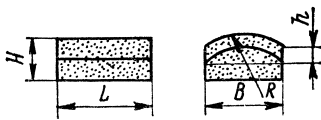
14.17. Сегменты шлифовальные (ГОСТ 2464—82 *)

Тип, наименование, основные размеры	Эскиз
<p>СП — прямоугольные. $B = 40 \div 180$ мм, $H = 20 \div 63$ мм, $L = 80 \div 250$ мм</p>	
<p>1С — выпукло-вогнутые. $B = 60 \div 150$ мм, $B_1 = 40 \div 110$ мм, $L = 75 \div 200$ мм, $r = 85 \div 300$ мм, $r_1 = 60 \div 250$ мм</p>	
<p>2С — вогнуто-выпуклые. $B = 80; 95$ мм, $B_1 = 75; 80$ мм, $L = 125; 175$ мм, $r_1 = 150; 220$ мм, $r = 120; 250$ мм</p>	
<p>3С — выпукло-плоские. $B = 110 \div 350$ мм, $B_1 = 75 \div 210$ мм, $H = 40 \div 240$ мм, $L = 180 \div 300$ мм, $r = 200 \div 500$ мм</p>	
<p>4С — плоско-выпуклые. $B = 100; 190$ мм, $B_1 = 80; 180$ мм, $H = 40; 50$ мм, $r = 220; 400$ мм, $L = 150; 160$ мм</p>	
<p>5С — трапецевидные. $B = 60; 100$ мм, $B_1 = 46 \div 85$ мм, $H = 16 \div 40$ мм, $L = 125 \div 200$ мм</p>	

Примечание: шлифовальный материал сегментов — электрокорунд нормальный марки 15А, зернистостью 50 ÷ 10 или марок 14А, 13А, зернистостью 125—10; хромтитанистый электрокорунд марок 94А, 93А или карбид кремния черный марок 55С, 54С, 53С, зернистостью 125—10; связка сегментов — бакелитовая.

14.18. Бруски шлифовальные

Тип, наименование, основные размеры	Эскиз
<p style="text-align: center;"><i>Квадратные</i></p> <p>БКВ (ГОСТ 2456—82). $B = 4 \div 45$ мм, $L = 16 \div 200$ мм</p>	
<p style="text-align: center;"><i>Прямоугольные</i></p> <p>БП (ГОСТ 2456—82). $B = 2 \div 80$ мм, $H = 3 \div 25$ мм, $L = 15 \div 200$ мм, $h = H$ Л1БП — эльборовые $B = 4 \div 100$ мм, $H = 4 \div 20$ мм, $L = 63 \div 250$ мм, $h =$ $= 4 \div 6$ мм</p>	
<p style="text-align: center;"><i>Круглые</i></p> <p>БКР (ГОСТ 2456—82). $D = 6 \div 16$ мм, $L = 100; 150$ мм</p>	
<p style="text-align: center;"><i>Треугольные</i></p> <p>БТ (ГОСТ 2456—82). $B = 6; 10; 13;$ 16 мм ЛБТ — эльборовые. $B = 5; 6; 10; 16$ мм, $L = 100; 160$ мм</p>	
<p style="text-align: center;"><i>Полукруглые</i></p> <p>БПкр (ГОСТ 2456—82). $D = 13; 16,$ 20 мм, $L = 150; 200$ мм ЛБПкр — эльборовые. $L = 100; 160$ мм</p>	
<p style="text-align: center;"><i>Выпуклые</i></p> <p>ЛБС — эльборовые. $B = 4 \div 16$ мм, $H = 16 \div 40$ мм, $L = 36 \div 100$ мм, $h =$ $= 6, 16$ мм</p>	
<p style="text-align: center;"><i>Вогнутые</i></p> <p>Л1БС — эльборовые. $B = 16; 18; 25$ мм, $H = 26, 47; 45$ мм, $L = 25 \div 42$ мм, $h =$ $= 5; 16$ мм</p>	

Тип, наименование основные размеры	Эскиз
<p style="text-align: center;"><i>Вогнутые</i></p> <p>Л2БС — эльборовые. $B = 25 \div 100$ мм, $H = 5 \div 16$ мм, $h = 3 \div 6$ мм, $L = 5 \div 13$ мм Алмазные (ГОСТ 25.594—83*). $B = 2 \div 16$ мм, $H = 2 \div 6$ мм, $L = 25 \div 150$ мм, $h = 1,5 \div 3$ мм, $R = 3 \div 150$ мм</p>	
<p>Примечание. Шлифующий материал брусков — белый электрокорунд марки 25А, зернистостью 25—5; марки 24А, 23А, зернистостью 25—М7; зеленый карбид кремния марок 64С; 63С, зернистостью 16—М7; эльбор марок 10; 17, зернистостью Л12—ЛМ5 (бруски Л1БП и Л2БС) или ЛМ40—ЛМ5, остальные алмазные порошки из природных или синтетических алмазов, зернистостью 250/200—50/40, 50; 75; 100; 125 и 150 %-ной концентрации; связка керамическая у брусков из эльбора, металлическая, вулканитовая или резиновая у алмазных брусков керамическая или бакелитовая у остальных брусков.</p>	

служит алкидный лак ПФ-587, лак марки ЯК-153 или эпоксидный лак; для тканевой водо- и термостойкой шкурки — фенолформальдегидные смолы жидкие марок СФЖ-3038 и СФЖ-3039 (ГОСТ 20907—75*); для шкурки на фибровой основе — неорганические связки (натриевое стекло по ГОСТ 13078—81), органические связки (жидкий бакелит по ГОСТ 4559—78* или фенолформальдегидные смолы); для шкурки на лавсановой и металлической основах — каучукосодержащие связки Р1, Р4, Р8, Р9, Р14.

Шлифовальными материалами для шкурки являются электрокорунд, монокорунд, карбид кремния, кремень, стекло, эльбор, алмаз.

Существуют следующие способы нанесения шлифовального материала: электростатический (Э), механический (М), гравитационный (Г). Буквенный индекс способа входит в условное обозначение шкурки.

Разновидности шлифовальных шкурок. Бумажная неводостойкая шлифовальная шкурка выпускается в рулонах шириной 750—900, длиной 30 м, зернистостью 50 и более и длиной 50 м зернистостью 40 и менее (табл. 14.19). Связка — мездровый клей. Условное обозначение шкурки приведено в табл. 14.11.

Режущая способность определяется массой сошлифованного с образца материала во время испытания, г/мин, или объемом снятого материала в единицу времени, мм³/с. Режущая способность для электрокорунда составляет 0,008—0,312 г/мин, а для карбида кремния 0,01—0,138 г/мин.

Тканевая неводостойкая шлифовальная шкурка выпускается в рулонах шириной 725—880 мм, длиной 30 м, зернистостью 50 и более и 50 м, зернистостью 40 и менее (табл. 14.19). Условное

обозначение шкурки дано в табл. 14.11. Режущая способность для электрокорунда $0,04-4,36 \text{ мм}^3/\text{с}$.

Бумажная водостойкая шлифовальная шкурка выпускается в виде рулонов шириной 500—1000 мм, длиной 30, 50 и 100 м, или в листах с размерами $140 \times 230-320 \times 320 \text{ мм}$ (табл. 14.19). Условное обозначение приведено в табл. 14.11. Режущая способность $0,005-0,86 \text{ г/мин}$.

Тканевая водостойкая шлифовальная шкурка выпускается однослойной (О) в рулонах шириной 600—820 мм, зернистостью 125—М50 или двухслойной (Д) шириной 725—840 мм, длиной 20 м, зернистостью 50—М40 (табл. 14.19). Условное обозначение приведено в табл. 14.11.

Режущая способность $Q = 78,5q/t \text{ мм}^3/\text{с}$, где q — длина сошлифованного эталонного стержня; t — продолжительность цикла шлифования. Величина Q для карбида кремния $0,57-15,7 \text{ мм}^3/\text{с}$, для электрокорунда $0,39-9,73 \text{ мм}^3/\text{с}$.

Эльборовая шлифовальная шкурка (ОСТ 2474-6—77) выпускается четырех типов: ЭС, ЭР, МС, МР — в виде бобин шириной 60, 90 и 100 мм, длиной 1,5—50 м из эльбора марок ЛО и ЛП, зернистостью 3—160. В качестве связки используется клей марки ЯК-153. Основа — ткань в виде капрона, шифона, лавсана и т. п. Условное обозначение приведено в табл. 14.11. Первая буква в нем означает способ нанесения зерна (Э — электростатический, М — механический), вторая — вид поверхности (С — сплошной слой, Р — рельефный слой).

Алмазная шлифовальная шкурка из природных или синтетических алмазов на металлической связке (ТУ2-037-88—78 и ТУ2-037-255—79) выпускается в виде листов шириной 22—200 мм, длиной 70—2000 мм. Зернистость — по согласованию с потребителем. Условное обозначение дано в табл. 14.11.

Изделия из шлифовальной шкурки. Листы и диски шлифовальные (ГОСТ 22773—77*) из шлифшкурки (ГОСТ 5009—82, ГОСТ 6456—82*, ГОСТ 10054—82, ГОСТ 13344—79*) выпускаются следующих размеров: листы (Л) шириной от 70 до 125 мм и длиной от 625 до 1000 мм; диски (Д) сплошные и с отверстием (ДО) — диаметром от 80 до 340 мм; диски с прорезями (ДП) — диаметром от 100 до 170 мм и с 16-ю прорезями глубиной 20 мм.

Условное обозначение — в табл. 14.11.

Круги шлифовальные лепестковые (ГОСТ 22775—77) из шкурки (ГОСТ 5009—82 и ГОСТ 13344—79*) выпускаются двух типов: КЛ — без оправки, КЛО — с оправкой. Размеры кругов: типа КЛ $D = 120 \div 500 \text{ мм}$, $H = 25 \div 140 \text{ мм}$, $d = 32 \text{ мм}$ и $d = 40 \text{ мм}$; типа КЛО $D = 40 \div 140 \text{ мм}$, $H = 10 \div 40 \text{ мм}$, $d = 6 \text{ мм}$ и $d = 8 \text{ мм}$ (здесь d — наружный диаметр оправки).

Условные обозначения листов, дисков, кругов приведены в табл. 14.11. В условных обозначениях стандарты на шкурку отмечаются цифрами 1 — ГОСТ 6456—82; 2 — ГОСТ 5009—82; 3 — ГОСТ 10054—82; 4 — ГОСТ 13344—79*.

14.19. Зернистость шлифовальных шкур

Характеристика шкурки		Шлифующий материал марки								
		Электрокорунд			Монокорунд	Карбид кремния			Кремень	Стекло
		нормальный	белый	хромистый		зеленый	черный			
Тип	Основа	13А—18А	23А—25А	33А, 34А	43А—45А	63С, 64С	55С, 54С	33С	81кр	71Е
Неводостойкая шлифовальная бумажная (ГОСТ 6456—82): тип 1 — для обработки металлов тип 2 — для обработки неметаллов	Бумага марок П1; П6—П8	25—М40			—		25—М50		25—6	
	Бумага марок П2—П5; П7; П8	50—М40					50—М50		50—6	
Неводостойкая шлифовальная тканевая (ГОСТ 5009—82): тип 1 — для машинной обработки прочных и вязких металлов и неметаллов тип 2 — для машинной и	Саржа марок ЛО—У2Г (ГОСТ 3357—72)	125—М40			50—16		80—3		80—8	—
		63—М40			50—8		25—М40		80—8	—

<p>ручной обработки со значительными усилиями и съемом тип 3 — то же, но с небольшими усилиями</p>		50—М40	—	—	—	—	80—8	—	
<p>Водостойкая шлифовальная бумажная (ГОСТ 10054—82)</p>	<p>Влагопрочная бумага (ГОСТ 10127—75*)</p>	<p>16-П; 16-Н; 4-П; 4-Н; М63-Н; М63-П; М63-В—М4-Н; М4-П; М4-В</p>	—	—	—	<p>16-П; 16-Н; 4-П; 4-Н; М63-Н; М63-П; М63-В—М4-Н; М4-П; М4-В</p>	<p>16-П; 16-Н; 6-П; 6-Н</p>	—	—
<p>Водостойкая шлифовальная тканевая (ГОСТ 13344—79*): тип 1 — для обработки древесины, пластмасс, лаковых покрытий тип 2 — для обработки твердых и прочновязких металлов и сплавов</p>	<p>Саржа марок У1Г; У2Г; С1Г; С2Г (ГОСТ 3357—72) Саржа марок У1Г; У2Г; П; СП (ГОСТ 19196—80*)</p>	50—М40	—	—	—	50—М40	—	—	

Лента шлифовальная бесконечная (склеенная) и бобины выпускаются в двух исполнениях: исполнение 1 — шириной, равной или меньшей ширины рулонной шкурки, и со швом под углом 45—65°; исполнение 2 — шириной, большей, чем ширина рулонной шкурки, и со швом (швами) под углом 5—65°.

Размеры бесконечных лент (БЛ): ширина $B = 2,5 \div 25$ мм, длина $L = 220 \div 12\ 500$ мм. Условное обозначение ленты дано в табл. 14.11.

Несклеенные шлифовальные ленты поставляются в виде бобин (типов Б и БМ). Ширина лент бобин от 2,5 до 1500 мм, длина 25 000; 30 000; 40 000; 50 000; 100 000 мм.

Прочие гибкие шлифовальные изделия. Ленты алмазные полировальные предназначены для полирования стальных и чугунных деталей (ТУ2-037-198—77). Алмазоносный слой состоит из шлифпорошков марки АС2 зернистостью 80/63—50/40, микропорошков марки АСМ, зернистостью 60/40—3/2. В качестве основы используется лавсановая ткань, связка — каучукосодержащая. Концентрация алмазного порошка 25, 50 и 100 %-ная. Ширина лент (алмазоносного слоя) 25—180 мм, общая ширина 125—280 мм (АЛП25—АЛП180).

Условное обозначение лент — в табл. 14.11.

Диски шлифовальные фибровые (ГОСТ 8692—82) предназначены для работ со скоростью до 55 м/с без применения СОЖ. Выпускаются двух типов: тип 1 — для шлифования на легких и средних режимах неметаллов, цветных металлов и сплавов и т. д.; тип 2 — для шлифования на тяжелых режимах стали, жаропрочных сплавов и т. д. Размеры дисков: $D = 60 \div 225$ мм, $d = 6$ мм и $d = 22$ мм, $H = 0,7 \div 1$ мм.

Используются связки органические: Б — жидкий бакелит, Л — фенолформальдегидные жидкие смолы и неорганическая С — жидкое натриевое стекло. Классы точности АА, А и Б. Шлифующий материал — электрокорунд: нормальный марок 15А, 14А, 13А; циркониевый марок 93А, 94А зернистостью 125—16; легированный марок 91А и 92А зернистостью 50—16. Зерновой состав регламентирован ГОСТ 3647—80: с индексом П — для дисков класса точности АА; с индексами не ниже Н — для дисков классов А и Б. Основой является фибра (ГОСТ 12456—83). Условное обозначение приведено в табл. 14.11.

Режущая способность определяется по формуле $Q = q/t$, где q — масса сошлифованного за первый цикл обработки материала; t — время цикла, мин (обычно $t = 1$ мин). Значения Q колеблются в диапазоне 4—13 г/мин.

Диски алмазные эластичные (ТУ2-037-197—77Е) изготавливаются диаметром 200 мм из шлифпорошков марки АС2 зернистостью 80/63—50/40, алмазных микропорошков марки АСМ зернистостью 60/40—1/0. Основа — хлопчатобумажная ткань, связка — каучукосодержащая. Концентрация алмазного порошка 25, 50 или 100 %-ная. Диски выполняются как с отвер-

ствием ($d = 60$ мм), так и без него. Условное обозначение диска дано в табл. 14.11. Основное назначение — обработка металлографических шлифов. Диски обеспечивают получение параметра шероховатости при обработке твердых сплавов $R_a = 0,08$ мкм (исходная $R_a = 1,25$ мкм), при обработке стали $R_a = 0,04$ мкм (исходная $R_a = 2,5$ мкм).

Высокопористые эластичные шлифовальные круги выпускаются на порошковой или эпоксидно-каучуковой связке. В соответствии с ГОСТ 20014—83 круги на эпоксидно-каучуковой связке имеют четыре степени пластичности (17К—4ЭК), пористость 60—80 %. Шлифующий материал кругов — карбид кремния зеленый зернистостью 16—4.

Круги полировальные из тканевых материалов и корда выпускаются на основе хлопчатобумажных тканей, свободно складными типов 1С—3С, равномерно складными типов 2Р—3Р и на основе сизалевого материала кордовые типов 1К—3К, обшитые с двух сторон хлопчатобумажной тканью свободно складные типов 1С—3С.

Диаметр кругов типа 1С — 70—150 мм, 2С — 200—500 мм, 3С — 230—270 мм, 2Р — 350; 400 мм, 3Р — 210—270 мм; 1К — 80—120 мм, 2К — 400 мм, 3К — 220—270 мм.

Пасты. Применяются для доводки и полирования поверхностей в условиях машинной обработки или вручную. В металлообработке наибольшее распространение получили алмазные и эльборовые пасты и пасты на основе электрокорунда белого. Пасты выпускаются нормальной (Н), повышенной (П) или высокой (В) концентрации алмазного или эльборового порошка; мазеобразной (М) или твердой (Т) консистенции; смываемые водой (В), органическими растворителями (О) или водой и органическими растворителями, к которым относятся бензин, керосин, спирт, минеральные масла, фреоны и др.

В качестве шлифующих материалов используются алмазные порошки марок А или АС2, зернистостью 125/100—50/40, микропорошки марок А, АН, АСМ, АСН, зернистостью 60/40—0,1/0 или микропорошки эльбора марки ЛО, зернистостью 3—50 мкм.

Алмазные пасты служат: для черновой доводки твердосплавных матриц и притирки поверхностей (выпускаются по ТУ2-037-143—75, припуск на обработку 0,06—0,12 мм, достигаемый параметр шероховатости $R_a = 0,32 \div 2,5$ мкм); для доводки и полирования твердых сплавов, неметаллов, цветных и черных металлов (выпускаются по СТ СЭВ 206—75 «Пасты алмазные» или ТУ2-037-193—77 «Пасты алмазные», припуск здесь и далее до 0,06 мм, достигаемый параметр шероховатости $R_a = 0,006 \div 0,2$ мкм); для различных условий обработки (выпускаются по ТУ2-037-214—77 «Пасты алмазные специальные»).

Пример условного обозначения пасты из синтетических алмазов марки АСМ, зернистостью 28/20, нормальной (Н) концентра-

ции, смываемой органическими растворителями (О), мазеобразной (М) по СТ СЭВ 206—75:

АСМ 28/20 НОМ СТ СЭВ 206—75.

При обозначении паст из эльбора порядок расположения буквенных индексов меняется: МНО вместо НОМ для алмазных паст.

Для доводки твердосплавных режущих инструментов из труднообрабатываемых материалов, в том числе синтетических, можно использовать пасты следующих составов: для черновой доводки — карбид бора зернистостью 10—М40 (70—80 % по массе), парафин (20—10 %), керосин (10 %); для доводки — карбид бора зернистостью М40—М20 (65—75 %), окись железа (5 %), парафин (20—10 %), керосин (10 %); для тонкой доводки — карбид бора зернистостью М14—М5 (60 %), окись железа (10 %), парафин (30 %).

Для полирования стальных деталей под меднение применяют пасты, в состав которых входят электрокорунд нормальный зернистостью М40—М20 (80 %), парафин (9 %), сало, касторовое или костяное масло (8 %), воск или церезин (3 %) (предварительное полирование); окись железа (35—40 %), парафин (до 6 %), стеарин (15 %), олеиновая кислота (20 %), остальное — сало или касторовое масло (окончательное полирование).

14.3. Инструмент для правки шлифовальных кругов

Правка шлифовального инструмента осуществляется в целях придания ему режущих свойств и правильной геометрической формы. Правке подвергаются вновь устанавливаемые на станок инструменты и затупившиеся в процессе работы. Критерием затупления инструмента являются ухудшение качества обработанной поверхности, снижение точности, появление прижогов, участков, выделяющихся блеском, вибраций, дробления и т. д. В автоматизированном производстве правку осуществляют принудительно, через заранее заданные интервалы времени. Наиболее распространенные методы правки приведены на рис. 14.1.

Правка методом обтачивания (рис. 14.1, а) осуществляется алмазными карандашами, иглами, алмазами в оправе (табл. 14.20). Алмазные карандаши типов 01, 02 и 03 и алмазы в оправе следует устанавливать с наклоном 10—15° в сторону вращения круга. В процессе правки их необходимо поворачивать вокруг своей оси на угол 60—90°.

Карандаши типа 04 (реже 02) и алмазные иглы закрепляют без наклона к поверхности круга. Метод обтачивания (табл. 14.21) используется для правки абразивных кругов, кругов из эльбора на бакелитовой и керамической связках, алмазных кругов на керамической связке. При правильной эксплуатации круги из эльбора и алмазные круги самозатачиваются. Правка

применяется для устранения биения после установки кругов и для восстановления изношенного профиля. Карандаши используют при правке кругов зернистостью 200/160—40/25.

Правка методом обкатывания (рис. 14.1, б) применяется при профилировании шлифовальных кругов (с прямолинейной образующей) из электрокорунда и карбида кремния. При правке

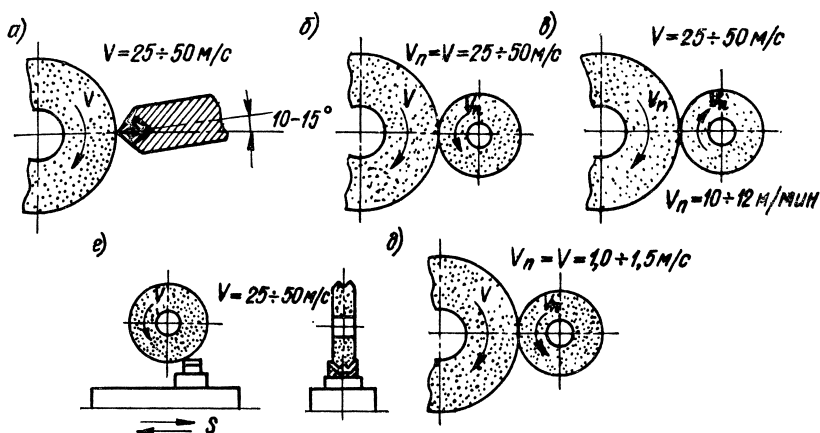


Рис. 14.1. Методы правки шлифовальных кругов

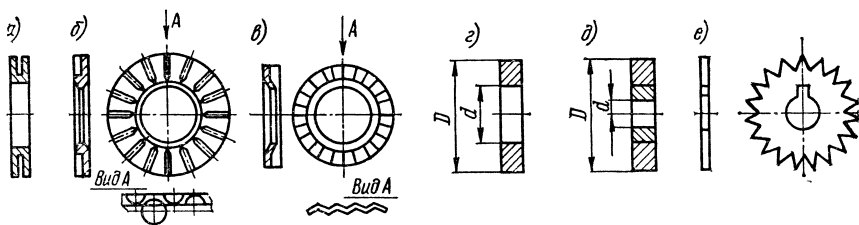
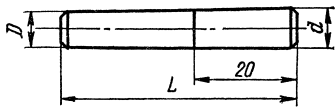
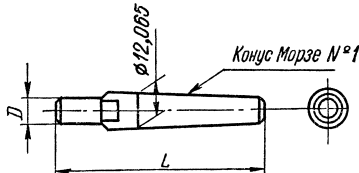
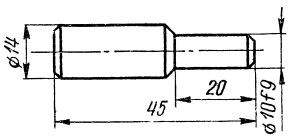
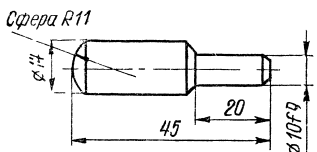


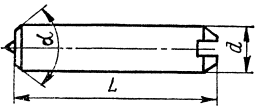
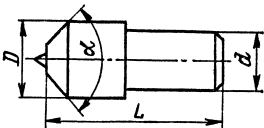
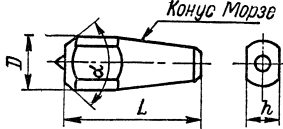
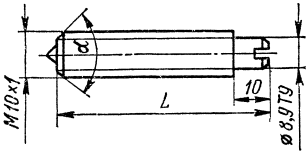
Рис. 14.2. Диски (а—д), звездочки (е) для правки кругов

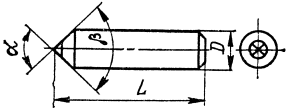
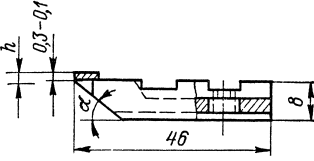
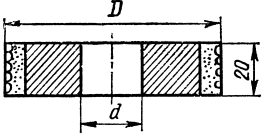
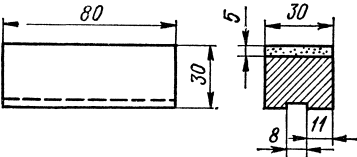
правлящий ролик устанавливается параллельно оси круга, подвергающегося обработке, или наклоняется под некоторым углом к нему. Наклон ролика создает условия для проскальзывания, при котором интенсифицируется процесс правки и осуществляется заглаживание поверхности круга. С увеличением угла увеличивается износ правящего ролика. Ролик вращается за счет сил трения между ним и кругом. Правящий инструмент имеет вид дисков, звездочек, шарошек, абразивных кругов, устанавливаемых на оси поодиночке или пакетом. Диски иногда имеют одну или две канавки (рис. 14.2).

Материал звездочек и шарошек — термообработанная сталь. Назначение — обдирочная грубая правка с поперечной подачей до 0,1 мм/ход.

14.20. Алмазные правящие инструменты

Тип, наименование, основные размеры	Область применения
<p><i>Алмазные карандаши</i> (ГОСТ 607—80 Е)</p>  <p>Исполнение А цилиндрические Тип 01 (с алмазами, расположенными цепочкой по оси карандаша) Тип 04 (с неориентированным расположением алмазов) D (h14) = 6; 8; 10 мм, d (f9) = 6; 8; 10 мм, L = 55; 45 мм</p>	<p>Правка абразивных кругов прямого профиля на операциях круглого наружного, внутреннего, бесцентрового и плоского шлифования, на отдельных операциях профильного, резьбо- и зубошлифования, при которых обработанная поверхность должна иметь шероховатость $R_a \leq 1,25 \mu\text{м}$ (при врезном шлифовании) и $R_a \leq 0,63 \mu\text{м}$ (при шлифовании с продольной подачей)</p>
 <p>Исполнение В с коническим корпусом Типы 01, 04, 02 (с алмазами, расположенными слоями) D (h14) = 10, 12 мм; L = 40 ÷ 70 мм</p>	
  <p>Исполнение С ступенчатые Типы 02, 04, 03 (с алмазами, расположенными на сферической поверхности) D (h14) = 10; 12 мм, L = 40 ÷ 70 мм</p>	

Тип, наименование, основные размеры	Область применения
<p>Алмазы в оправках (ГОСТ 22908—78 Е)</p>  <p>Тип I цилиндрические d (f9) = 6 ÷ 12 мм; L = 0,5 ÷ 50 мм; α = 90; 120°</p>	<p>Правка абразивных кругов всех характеристик, используемых для окончательного шлифования поверхностей, с параметром шероховатости $R_a \geq 0,2$ мкм (шлифование врезанием) и $R_a \geq 0,1$ мкм (шлифование с продольной подачей)</p>
 <p>Тип II цилиндрические с головкой $D_{+0,5}$ = 10; 12 мм; d = 6; 8 мм, L = = 32; 50 мм; α = 90; 120°</p>	
 <p>Тип III с конической державкой D = 10,3; 12,2 мм, L = 28; 32 мм, h = 8; 10 мм; α = 90; 120°</p>	
 <p>Тип IV с резьбовой державкой L = 36; 50 мм; α = 90; 120°</p>	

Тип наименование, основные размеры	Область применения
<p><i>Алмазные иглы</i> (ГОСТ 17564—72*)</p>  <p>$D = 6; 8; 9,5 \text{ мм}; L = 35, 50 \text{ мм};$ $\alpha = 60; 90^\circ, \beta = 50, 80^\circ$</p>	<p>Правка однониточных резбошлифовальных кругов при шлифовании высокоточных резбовых поверхностей</p>
<p><i>Алмазные резцы</i> (ГОСТ 17368—79*E)</p>  <p>$h_{-0,1} = 0,3 \div 1,3 \text{ мм}, \alpha \pm 1^\circ = 28, 32; 35^\circ$</p>	<p>Профильная правка абразивных кругов на операциях круглого наружного, бесцентрового, плоского шлифования, резбо- и зубошлифование поверхностей с параметром шероховатости $R_a \geq 0,2 \text{ мкм}$ (шлифование врезанием) и $R_a \geq 0,1 \text{ мкм}$ (шлифование с продольной подачей)</p>
<p><i>Ролики алмазные прямого профиля</i> (ГОСТ 16014—78*E)</p>  <p>$D (h8) = 69,85 \div 70,05 \text{ мм}; d (H6) = 19,05; 20,0 \text{ мм}$</p>	<p>Правка абразивных кругов прямого профиля, используемых при обработке поверхностей с параметром шероховатости $R = 0,63 \div 1,25 \text{ мкм}$</p>
<p><i>Алмазные бруски прямого или фасонного профилей</i></p>  <p>Размеры фасонных брусков определяются обрабатываемым изделием. Алмазный слой шириной до 50 мм, длиной до 110 мм, глубиной профиля до 20 мм, радиус выпуклости $R \geq 0,1 \text{ мм}$, радиус вогнутости $R \geq 0,1 \text{ мм}$</p>	<p>Правка абразивных кругов прямого профиля или профильной правки по копиру на плоскошлифовальных станках при обработке поверхностей с $R_a \geq 1,25 \text{ мкм}$</p>

14.21. Режимы правки шлифовальных кругов методом обтачивания

Вид шлифования	Шероховатость R_a мкм	Режим правки			
		алмазом		алмазно-металлическим карандашом	
		Подача *	Число проходов **	Подача *	Число проходов **
Круглое наружное, бесцентровое, плоское	1,25—0,32	0,3/0,02	6/4	0,4/0,03	4/4
	0,32—0,16	0,2/0,01	5/4	0,3/0,02	3/4
Внутреннее	1,25—0,32	1,0/0,02	6/4	1,5/0,03	4/4
	0,32—0,16	0,5/0,01	5/4	—	—
Резьбошлифование	0,63—0,16	0,2/0,005	6/2	—	—
Шлицешлифование	1,25—0,32	0,3/0,03	4/4	0,4/0,03	4/4
	0,32—0,16	0,2/0,01	5/4	0,3/0,02	3/4
Профильное	1,25—0,32	0,2/0,02	6/4	0,3/0,03	4/4
	0,32—0,16	0,1/0,01	8/4	0,2/0,02	4/4

* В числителе указана продольная подача (м/мин), в знаменателе — поперечная подача (мм/дв. ход).

** В числителе указаны рабочие проходы, в знаменателе — число выходящих проходов.

Материал кругов — карбид кремния марки 54С твердостью ВТ—ЧТ, связка керамическая, зернистость выбирается исходя из условий обработки.

Материал дисков твердосплавных — сплав ВК6, размеры выпускаемых дисков $D = 40$ мм, $D = 60$ мм, $H \leq 3$ мм. Диски закрепляются в державках Д040 и Д075 (ТУ2-037-205—77): по два на одной оси.

Материал релитовых дисков — релит (литой карбид вольфрама) в виде зерен размером 600—1600 мкм, скрепленных металлической связкой. Размеры выпускаемых дисков $D = 40$ мм и $D = 75$ мм, $H \leq 12$ мм. Диски устанавливаются в державках Д040 и Д075. В качестве правящих материалов иногда используют зерна сверхтвердых материалов зернистостью до 1600 мкм и комбинации зерен различных материалов, закрепляемых в твердосплавной или металлической связках. Режимы правки шлифовальных кругов методом обкатки приведены в табл. 14.22.

Правка методом шлифования (рис. 14.1, в) — процесс обработки поверхности шлифовального круга правящим инструментом, получающим принудительное вращение. Подразделяется на правку с продольной подачей и правку врезанием (правка

14.22. Режимы правки шлифовальных кругов методом обкатывания

Правящий инструмент	Продольная подача, м/мин	Поперечная подача, мм/дв. ход, при зернистости шлифовального круга			Число проходов при зернистости			
		40	25	16	40	25	16	40—16
					рабочих			выжи- вающих
Круг из карбида кремния	1,0	0,02—0,04	0,03—0,02	0,02—0,01	2—3	2	2—3	2
Диск твердосплавный монолитный	0,5—1,0	0,02—0,03	0,02—0,01	0,02—0,01	2—4	2—3	2	3—4
Диск стальной	1,0—1,5	0,4—0,05	0,02—0,01	0,02—0,01	2	2	2	3—4

Примечание. Для интенсификации процесса правки кругами из карбида кремния ось правящего инструмента устанавливают на угол $\varphi = 8 \div 10^\circ$ по отношению к оси шлифующего круга. Остальные инструменты осуществляют правку кругов при угле $\varphi = 0 \div 6^\circ$.

14.23. Режимы правки шлифовальных кругов методом шлифования

Правящий инструмент	Характеристика шлифовального круга			Вид шлифования	Скорость инструмента, м/с	Режим правки	
	Зернистость	Степень твердости	Связка			Подача	
						продольная, м/мин	поперечная, мм/ход
Алмазный ролик	40—12	До Т2	К; Б; В	Окончательное	10,0	0,3—1	0,02
Круги из карбида кремния степени твердости:	25—12	До СТ1	К; Б	»	10,0	—	0,3—0,5 мм/мин
Т1—Т2	50—40	СМ2	К	Предварительное	0,5—1,0	1,0—1,5	0,05
ВТ1—ЧТ2	50—40	СТ1	К; Б	»	0,5—1,0	1,0—1,5	0,05
Более ЧТ2	50—40	СТ3	К; Б	»	0,5—1,0	1,0—1,5	0,05
Т1—Т2	40—12	СМ2	К; Б	Окончательное	0,5—1,0	0,5—1,0	0,03
ВТ1—ВТ2	40—12	СТ1	К; Б	»	0,5—1,0	0,5—1,0	0,03

фасонных или угловых поверхностей). К правящему инструменту относятся круги из карбида кремния зернистостью 125—50, на керамической связке, диаметром 60—250 мм, алмазные ролики из природных или синтетических алмазов (см. табл. 14.20), металлоабразивные ролики (табл. 14.23).

Указанный метод находит применение и при правке алмазных и эльборовых кругов. Правку кругов из эльбора и алмаза на металлической связке производят шлифованием кругами из зеленого карбида кремния или электроабразивной обработкой. Электроабразивная правка производится металлоабразивными кругами в виде, например, ролика из карбида кремния зеленого на металлической связке. Шлифовальный и правящий круги электрически изолируются от станка, а затем подсоединяются шлифовальный круг к отрицательному полюсу источника тока, правящий — к положительному полюсу. Среда диэлектрическая (трансформаторное или веретенное масло). Предварительная правка для устранения биения вновь установленного круга осуществляется при напряжении 18—24 В и силе тока 40—50 А; окончательная правка для придания кругу заданной конфигурации и получения требуемой точности размеров — при напряжении 5—10 В и силе тока 8—12 А (с отключением подачи среды). В процессе работы круги подправляются при напряжении 12—18 В и силе тока 40—50 А.

Правка методом точения с тангенциальной подачей (рис. 14.1, з) аналогична правке методом обтачивания, но осуществляется брусками (прямого или фасонного профиля). При установке бруска на столе станка непосредственно за обрабатываемой деталью шлифовальный круг постоянно «подправляется», что позволяет получить высокие качество и точность профиля. Эльборные круги на органической и керамической связках правятся алмазными брусками и брусками из карбида кремния; алмазные круги — брусками из зеленого карбида кремния и белого электрокорунда.

Правка методом накатывания (рис. 14.1, д) на рабочую поверхность фасонного профиля представляет собой комбинацию пластического деформирования с дроблением зерен и связки с уплотнением поверхности. Для накатывания используются стальные закаленные ролики (из стали 45, 40Х твердостью 31—33 HRC_э, из сталей У8А, У10А, Р18 твердостью 61—65 HRC_э), твердосплавные и алмазные ролики. Ролики должны иметь следующие размеры: $D = (0,2 \div 0,25) D_{кр}$, высоту, равную длине обрабатываемого профиля. В процессе правки ролик или круг вращают принудительно с окружной скоростью до 1,5 м/с, поперечную подачу назначают в пределах 0,01—0,05 мм/мин, после окончания профилирования целесообразно осуществить калибрование в течение 0,5—5 мин. Правка методом накатывания получила распространение при многониточном резьбошлифовании, при шлифовании мелко модульного твердосплавного инструмента

(долбяков, шеверов, эвольвентных протяжек). Точность профиля накатанного круга может достигать для линейных размеров 0,005—0,01 мм, для радиуса закругления вершины не более 0,04 мм и для угловых размеров 5—10'.

Правка свободным абразивом — метод, который нашел применение при правке алмазных кругов на операциях плоской шлифовки и доводки. Правящей средой служит абразивный порошок, например марки КЗ 40, подающийся в зазор между кругом и изделием, равный 0,6 величины абразивного зерна.

14.4. Абразивная обработка

Характерной особенностью абразивной обработки является участие в съеме материала значительного количества абразивных зерен. В зависимости от ориентации относительно плоскости резания абразивные зерна имеют различную режущую способность и их влияние на процесс обработки различно. Кроме того, в абразивном инструменте на твердой или эластичной основах зерна выступают из связки на различную высоту, их величина и степень сцепления со связкой не одинаковы, что также отрицательно влияет на процесс обработки. Для устранения указанных факторов предпринимаются различные меры: изготовление инструментов с геометрически ориентированными зёрнами, что позволяет повысить число активных режущих зерен с 10—15 % до 40—60 %; применение связок с повышенной пористостью, позволяющих зёрнам «доориентироваться» в процессе обработки; металлизация (или иные виды покрытия) зерен, обеспечивающая лучшее сцепление зерен со связкой; литье при изготовлении инструмента мелкозернистой структуры.

Эффективность абразивной обработки характеризуется, кроме того, направлением перемещения инструмента относительно заготовки и заготовки относительно инструмента, применяемыми способами активизации процесса отделения обрабатываемого материала, очистки и замены затупившихся зерен и т. д.

К методам абразивной обработки относят: шлифование, доводку (хонингование, суперфиниширование), обработку свободными абразивными зёрнами, ленточное шлифование и полирование, заточку и доводку режущих инструментов. Перечисленные методы могут осуществляться как обычными средствами, так и с использованием различных электрофизикомеханических процессов, активизирующих обработку (электроэрозийная, электрохимическая, электроискровая и другие виды обработок). В зависимости от требований к обработанной поверхности абразивная обработка может быть черновой ($R_z = 20 \div 10$ мкм), чистовой ($R_a = 2,5 \div 0,16$ мкм), тонкой ($R_a = 0,16 \div 0,02$ мкм), особо тонкой ($R_z = 0,1 \div 0,25$ мкм).

Шлифование. В зависимости от вида обработки, формы и расположения обрабатываемой поверхности различают обдирочное

14.24. Характеристика шлифовальных кругов

Обрабатываемый материал	Характеристика шлифовального круга			Параметр шероховатости R_a , мкм
	Абразивный материал	Зернистость	Степень твердости	
Конструкционная сталь: незакаленная закаленная	Электрокорунд	25	C2	0,8
	»	25—16	C1—C2	0,4
Быстрорежущая сталь незакаленная	Электрокорунд белый	16—12	CT1	0,1—0,2
	То же	40—25	C1	0,4
Твердые сплавы	»	25—12	M3—CM1	0,2
	Карбид кремния зеленый	25	CM1	1,6
	Алмаз синтетический АС4 (АСВ)	16	M3—CM1	0,2
	Алмаз синтетический АС4 (АСВ)	80/63	Связка M1 при 150 %-ной концентрации	0,2
Сверхтвердые материалы: композит 01 и композит 05	То же	80/63	—	0,2

шлифование, отрезку и прорезку, круглое наружное, круглое бесцентровое, круглое внутреннее, плоское и профильное шлифование.

Обдирочное шлифование используется для удаления дефектного слоя после заготовительных операций, при этом формообразующие операции не производятся. На операциях этого вида используются круги типов ПП, ПР, ПН, ЧК, зернистостью 125—50, твердостью СТ1—Т1. Скорость резания 35—50 м/с, а при использовании упрочненных стеклосеткой кругов — до 80 м/с.

Круглое наружное шлифование представляет собой процесс обработки заготовок шлифовальным кругом в центрах или патроне (табл. 14.24 и 14.25). Существуют три схемы шлифования: 1) шлифование с продольной подачей; 2) шлифование врезанием (с поперечной подачей); 3) шлифование комбинированным способом.

Шлифование с продольной подачей применяется при предварительной и окончательной обработках длинных (с длиной более высоты круга) заготовок (рис. 14.3, а). Процесс заключается в подводе круга без шлифования на заданную глубину и продольной (вдоль оси изделия) его подаче (или подаче изделия вдоль своей оси).

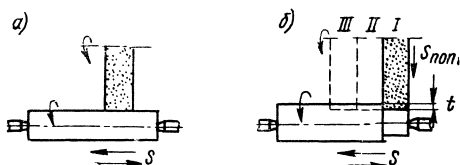


Рис. 14.3. Схемы круглого наружного шлифования: а — с продольной подачей; б — комбинированным способом

14.25. Режимы круглого наружного шлифования (ориентировочные)

Вид шлифования	Режимы обработки				
	Припуск, мм	Скорость резания, м/с	Подача		
			круговая, м/мин	продольная, м/мин	поперечная, мм/дв. ход
Круглое наружное с продольной подачей: предварительное окончательное	До 1 мм 0,05—0,2	25—50 25—50	20—40 15—35	10—30 5—20	0,01—0,025 мм/ход 0,005—0,02 мм/ход
Круглое наружное с поперечной подачей: предварительное окончательное	До 1 мм » 1 мм	25—50 25—50	30—50 20—40	— —	0,025— 0,075 мм/об. изд 0,001— 0,005 мм/об. изд.
Круглое наружное кругами из эльбора: на органической связке: предварительное окончательное на керамической связке	0,5 0,05—0,2 0,2—0,3	30—50 30—50 30—35	10—20 8—10 10—25	0,5—1 0,5—1 0,5—1	0,002—0,01 0,002—0,005 0,01—0,05
Круглое наружное шлифование твердосплавных заготовок: на металлической связке на органической связке	0,1—0,2 0,05—0,1	20—35 20—35	20—40 20—40	0,5—1,5 0,3—1	0,0025—0,005 0,001—0,003

Схема шлифования врезанием состоит в поперечной подаче круга и «выхаживании», т. е. обработке без подачи, в течение некоторого времени. Эта схема применяется и в инструментальном производстве при обработке хвостовиков инструмента, установочных поясков фрез и т. п.

Схема комбинированной обработки (рис. 14.3, б) заключается в подводе круга с врезанием в изделие на некоторую глубину и последующей обработкой с продольной подачей. При значительной глубине врезания, близкой к снимаемому припуску, и малой продольной подаче обработку по этой схеме называют «глубинным» шлифованием.

Бесцентровое наружное круглое шлифование. Характеризуется базированием по наружным поверхностям вращения заготовки. Привод вращения изделия осуществляется от ведущего круга, передающего момент вращения за счет трения, привод подачи — за счет наклона оси ведущего круга к оси обрабатываемой заготовки или за счет принудительного перемещения. Оба круга — шлифующий и ведущий — вращаются в одну сторону, но с раз-

ными скоростями: ведущий круг имеет скорость в 60—100 раз меньше шлифующего. Опорой обрабатываемой заготовки является нож (рис. 14.4), который может располагаться так, чтобы центр заготовки находился выше или ниже линии центров кругов. Для тонких длинных заготовок (таких, как заготовки инструментов) центры их вращения должны быть ниже линии центров.

Ось ведущего круга может располагаться параллельно оси шлифовального круга или наклонно к нему, под углом до 6° . Вращение заготовке сообщается за счет трения между ней и ведущим кругом, а при наклонном его положении заготовка получает и продольную подачу, скорость (м/мм) которой определяется по формуле $S_{\text{прод}} = v \sin \alpha$, где v — скорость ведущего круга,

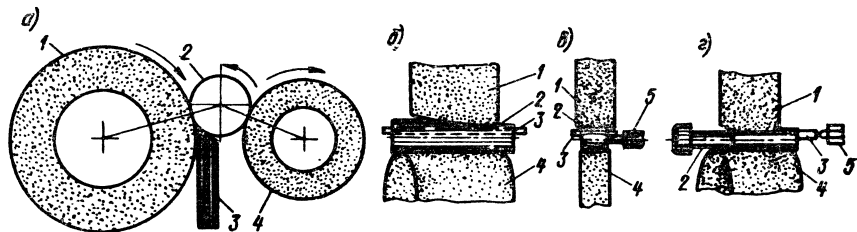


Рис. 14.4. Схемы установки (а) и бесцентрового наружного шлифования (б—г): 1 — шлифовальный круг; 2 — обрабатываемое изделие; 3 — опорный нож; 4 — ведущий круг; 5 — упор

м/мин; α — угол поворота ведущего круга или ножа (когда продольная подача обеспечивается наклонным положением ножа). Скорость вращения заготовки равна скорости вращения ведущего круга.

Схемы бесцентрового шлифования: сквозное с продольной подачей (рис. 14.4, а, б); методом врезания с поперечной подачей (рис. 14.4, в); шлифование до упора (рис. 14.4, г, з).

Шлифование с продольной подачей применяется для обработки цилиндрических заготовок длиной 0,6 ее диаметра и более. При длине заготовки, меньшей чем высота круга, обработку целесообразно вести с непрерывным потоком заготовок в рабочей зоне. Для захвата заготовки рабочий круг имеет наклонный участок с углом $1—5^\circ$.

Шлифование врезанием осуществляется при поперечном перемещении ведущего круга (перпендикулярно к оси). В конце этого перемещения, когда получены окончательные размеры детали, поперечная подача прекращается на время выхаживания. Процесс шлифования прерывистый, связанный с необходимостью введения и вывода обрабатываемого изделия из зоны шлифования. Поперечная подача может быть равномерной, но более целесообразна обработка с неравномерной подачей, когда съём основной части припуска осуществляют с увеличенной подачей, а по мере приближения к окончательным размерам изделия ее уменьшают.

В инструментальном производстве шлифование врезанием получило широкое распространение. Примером служит одновременная обработка рабочей и конической хвостовой частей спиральных сверл профильным кругом. При этом обеспечивается высокая точность взаимного расположения указанных частей за счет исключения перестановок при раздельной их обработке.

Шлифование до упора осуществляется так же, как шлифование с продольной подачей, но процесс прерывается для разгрузки и загрузки заготовок после окончания цикла обработки. В инстру-

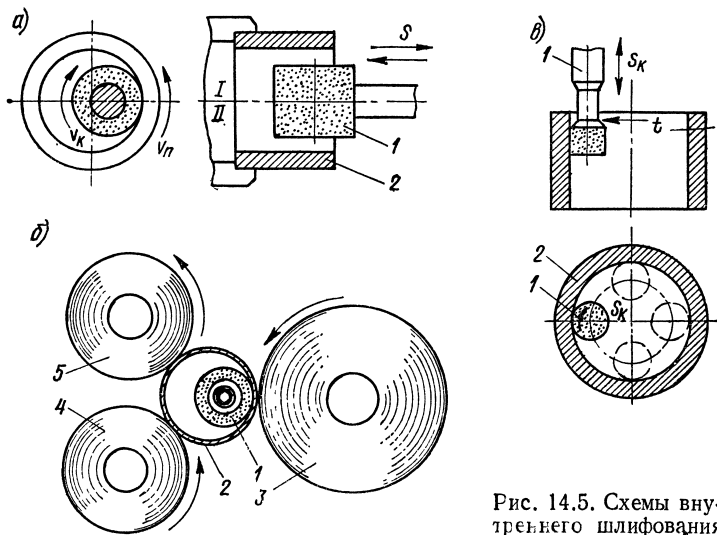


Рис. 14.5. Схемы внутреннего шлифования

ментальном производстве используется его разновидность — обработка с опрокидыванием изделия. В этом случае упор выполняется со скосом и заготовка при продольном ее перемещении соскальзывает по скосу и опрокидывается, удаляясь из рабочей зоны. Таким методом шлифуются сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком мелких размеров (до 5 мм). Характеристики шлифовальных кругов зависят от материала обрабатываемой детали, требований к ее поверхности, условий обработки.

Скорость шлифования около 30 м/с, при использовании специальных кругов до 60 м/с. Скорость продольной подачи 1,5—5 м/мин, скорость поперечной подачи 0,7—4,0 мм/мин, скорость ведущего круга 50—150 м/мин при работе с продольной подачей и 7—30 м/мин при работе с поперечной подачей.

Внутреннее шлифование осуществляется по схемам, приведенным на рис. 14.5. Схема обработки с базированием по наружному диаметру в патроне (рис. 14.5, а) наиболее распространена. Шлифовальный круг 1 и обрабатываемое изделие 2 вращаются вокруг собственных осей, возвратно-поступательное перемещение вдоль оси изделия совершает либо круг, либо изделие со скоростью

14.26. Режимы круглого внутреннего шлифования

Вид обработки	Припуск, мм	Режимы обработки			
		Скорость резания, м/с	Подача		
			круговая, м/мин	продольная, м/мин	поперечная, мм/ход
Внутреннее шлифование: предварительное окончательное	0,07—0,8	20—35	20—60	5—20	0,005—0,02
	0,07—0,8	20—35	20—60	2—15	0,0025—0,01
Внутреннее шлифование кругами из эльбора на керамической связке	0,07—0,8	8—35	10—30	0,3—1,0	0,002—0,005
Внутреннее шлифование твердосплавных заготовок алмазными кругами: на металлической связке на органической связке	0,1—0,2	10—25	10—30	0,5—1,5	0,0025—0,005
	0,05—0,1	10—25	10—30	0,3—1,0	0,001—0,002

продольной подачи. Подача на глубину производится в конце хода или в конце двойного хода. Круг при обработке может выходить из отверстия не более чем на 0,5 его высоты. Глубина продольной подачи не превышает 0,75 высоты круга за 1 оборот заготовки. Частота двойных ходов при продольной подаче не должна быть кратной частоте вращения заготовки.

Схема внутреннего бесцентрового шлифования (рис. 14.5, б) отличается от предыдущей тем, что заготовка располагается между ведущим (3), опорным (4) и прижимным (5) роликами и вращается она от ведущего ролика.

В схеме внутреннего планетарного шлифования (рис. 14.5, в) шлифовальный круг вращается как вокруг собственной оси, так и вокруг оси обрабатываемого изделия со скоростью 2—4 м/мин.

Диаметр кругов при внутреннем шлифовании выбирается равным 0,6—0,8 диаметра обрабатываемого отверстия. Характеристика кругов при внутреннем шлифовании отличается от характеристики кругов при наружном шлифовании: они более крупнозернистые и более мягкие. Рекомендуемые режимы обработки приведены в табл. 14.26.

Плоское шлифование. Является одним из самых распространенных видов точной обработки плоскостей. Различают плоское шлифование периферией круга и плоское шлифование торцом круга. Станки для плоского шлифования имеют вращательное

движение стола с обрабатываемой заготовкой или возвратно-поступательное относительное перемещение круга и изделия.

Шлифование периферией круга может осуществляться: 1) с врезной подачей без поперечной подачи вдоль оси круга; 2) с большой глубиной обработки и малой поперечной (вдоль оси круга) подачей; 3) с малой глубиной обработки и большой поперечной подачей. Первый способ применяется при обработке заготовок, ширина которых меньше высоты круга, круг при этом изнашивается неравномерно, теряет форму и требует частой правки. Второй способ используется для предварительного и получистового шлифования, однако в последнее время его применяют и при чистовой обработке («глубинное» шлифование). При этом круг изнашивается по торцу, условия самозатачивания улучшаются. Третий способ находит применение на получистовых и чистовых операциях. При шлифовании периферией круга условия работы круга благоприятнее, чем при торцовом шлифовании (площадь контакта круга с заготовкой значительно меньше), поэтому мощность шлифования не превышает 15 кВт, тогда как при работе торцом круга она достигает 50 кВт и выше.

Шлифование торцом круга также осуществляется несколькими способами: 1) со значительным (до 4°) наклоном оси шлифовального круга по направлению продольной подачи стола; 2) с незначительным (нерабочая часть торца круга приподнимается над обработанной поверхностью на 0,05—0,1 мм) наклоном оси круга; 3) без наклона круга. Первый способ применяется при работе с большим съемом металла и уменьшенной за счет наклона площадью контакта круга и заготовки. Второй и третий способы обеспечивают получение поверхностей правильной формы и высокого качества и используются на чистовых операциях. Работа круга при втором способе отличается тем, что часть круга, которая вступает в контакт с обрабатываемой поверхностью, снимает основной припуск, а противоположная его часть не участвует в резании. В этом случае площадь контакта несколько больше, чем при первом способе. В третьем случае для снижения площади контакта и устранения прижогов целесообразно применять круги с поднутрением на торцах, аналогичных кругам типа ПВД, круги с прерывистой поверхностью, сегментные или кольцевые круги. Большая площадь контакта обеспечивает высокую производительность торцового шлифования, что используется при обдирочных работах, поэтому круги, применяемые при этом, как правило, крупнозернистые (зернистость 125—40). Мелкозернистые круги (алмазные и эльборовые в том числе) используют на операциях чистового шлифования.

Ориентировочные режимы обработки приведены в табл. 14.27. Для более конкретных условий обработки режимы могут быть значительно ужесточены. Так, при глубинном электролитическом шлифовании ножей сборных фрез алмазными кругами АС4М 200/160 на связке марки МО13Э, 100 %-ной концентрации, с ук-

14.27. Режимы обработки при плоском шлифовании

Вид обработки	Припуск, мм	Режим обработки			
		Ско- рость реза- ния, м/с	Подача		Глубина шлифования, мм/дв. ход.
			про- дольная, м/мин	попе- речная, мм/ход. стола	
Плоское шлифование: периферией круга торцом круга	— —	20—35 20—35	6—30 1—3	1—2 —	0,01—0,03 0,004—0,05
Плоское эльборовое шлифование: периферией круга на органической связке	До 0,2	30—40	3—5	0,3—0,6	0,005—0,02
на керамической связке	» 0,2	30—35	8—10	0,3—0,6	0,04—0,1
Плоское алмазное шли- фование твердых сплавов периферией круга на связ- ке:					
металлической по- вышенной произво- дительности	0,05—0,3	20—35	5—15	0,5—2	0,01—0,05
металлической по- вышенной стойко- сти	0,05—0,2	20—35	5—15	0,5—2	0,005—0,02
органической с ме- таллическим напол- нителем	0,05—0,2	20—35	5—10	0,5—1	0,005—0,01
Плоское алмазное шли- фование твердых сплавов со сталью в электролити- ческом режиме перифе- рией круга на связке:					
металлической по- вышенной произ- водительности	—	25—30	0,5—3	2—4	0,05—0,4
металлической по- вышенной стойкости	—	—	0,5—1	2—4	0,05—0,2
органической с ме- таллическим напол- нителем	—	—	0,5—1	2—4	0,1—0,2
Плоское алмазное шли- фование твердых сплавов в электролитическом ре- жиме торцом круга на связке:					
металлической по- вышенной произво- дительности	—	25—30	0,5—1,0	—	0,3—1,0
металлической по- вышенной стойкости	—	25—30	0,2—0,4	—	0,2—0,6
органической с ме- таллическим напол- нителем	—	25—30	0,2—0,4	—	0,2—0,5

Примечание. Электролитический режим имеет следующие параметры: напряжение 4—8 В, плотность тока 50—10 А/см². Состав электролита ЭНИМС-1 (г/л): NaNO₃, 50—60, NaNO₂, 4—6, NaCO₃, 4—5, глицерин 10—20.

ладкой ножей по 2 поперек магнитной плиты и по 32—42 вдоль направления продольной подачи на станке модели 3Э731 подача на глубину составила 0,3 мм/дв. ход с обеспечением параметра шероховатости $R_a = 0,32 \div 0,25$ мкм. При алмазном плоском электролитическом шлифовании синтетических сверхтвердых материалов (в том числе эльбора Р) кругами АС4 80/63 на связке МВ1, 100 %-ной концентрации при скорости резания 35 м/с, скорости продольной подачи 5—6 м/мин на глубину 0,02 мм за 1 дв. ход резко повышена производительность труда, качество обработки, значительно снижен расход алмазов (по сравнению с обычным шлифованием алмазными кругами), который составил 1 : 20 (на 1 карат алмазных кругов 20 карат обработанного эльбора) вместо обычного соотношения 1 : 1.

При плоском электроалмазном шлифовании пластин твердого сплава производительность возрастает до 10 раз. Обработку производят торцом круга с размерами $250 \times 20 \times 3$ АС6 100/8 на связке МО13Э или МВ1, 100 %-ной концентрации. Электролит — водный раствор солей 10—15 % NaNO_3 , 0,5 % NaNO_2 . Станок модели 3Э731, рабочее напряжение 7В, ток до 25 А.

Профильное шлифование. Осуществляется двумя способами: 1) профильными (по форме обработанной поверхности) кругами с подачей врезанием; 2) кругами стандартных профилей с обработкой по копиру (на станках модели 3П95) по чертежу с контролем по проектору (на станках модели 395М и др.) или по программе (на станках с ЧПУ). Первый способ реализуется как на обычных кругло- или плоскошлифовальных станках, работающих периферией круга, так и на специальных станках. Способ требует наличия устройств для фасонной правки круга. К этим устройствам относятся приспособления для профилирования алмазными карандашами, иглами, роликами, специальные копируемые правящие приспособления типа «Диаформ», устройства, работающие от систем программного управления. Второй способ требует наличия набора шлифовальных кругов различного профиля и отличается возможностью непосредственного контроля обработанного профиля по экрану профилишлифовального станка в процессе обработки. Этим способом целесообразно обрабатывать базовые поверхности многозубого режущего инструмента с механическим креплением режущих элементов.

Резьбошлифование. Обеспечивает получение резьбы требуемой формы и размеров как при вышлифовке по целому, так и при шлифовке предварительно обработанного профиля (накаткой, обточкой, фрезеровкой). Обработка осуществляется на специальных резьбошлифовальных станках одно- или многоночными кругами, профиль осевого сечения которых соответствует профилю нарезаемой резьбы и переносится (копируется) на обрабатываемое изделие с некоторым искажением. Это вызвано тем, что нарезаемая резьба наклонена к оси изделия на некоторый угол, определяемый диаметром и шагом резьбы, в то время как

профиль шлифовального круга совершает перемещение в плоскости, перпендикулярной к оси изделия. Искажение профиля при этом практически незначительно и поэтому не учитывается при профилировании кругов.

Нарезание резьбы осуществляется различными способами: односточным шлифовальным кругом при вращении изделия и осевой его подаче (рис. 14.6, а);

многосточным шлифовальным кругом, высота которого превышает длину нарезаемой резьбы, врезаясь в заготовку при продольном ее перемещении на один шаг за один оборот (рис. 14.6, б);

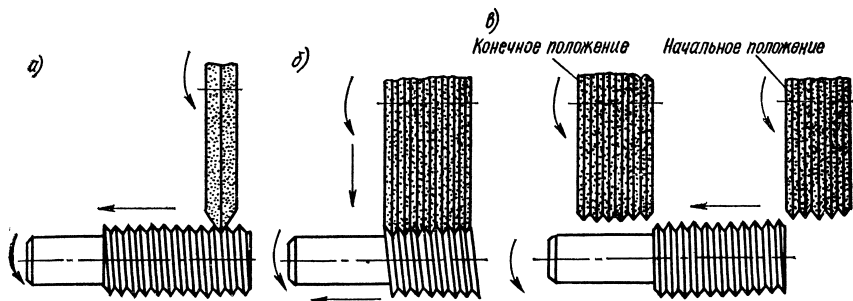


Рис. 14.6. Схемы резьбошлифования

многосточным кругом, высота которого меньше длины нарезаемой резьбы, при продольном перемещении с вращением обрабатываемой заготовки (рис. 14.6, в).

При обработке резьбы метчиков к описанным способам движения добавляется возвратно-поступательное движение заготовки перпендикулярно к своей оси (в целях обеспечения затыловки резьбы по профилю) для каждого пера метчика. Обработка односточным шлифовальным кругом обеспечивает высокую точность. Однако из-за повышенной нагрузки на профиль он быстро теряет свою форму, в связи с чем этот способ рекомендуется применять при вышлифовке резьб мелких (до 0,75 мм) шагов, работе с пониженными подачами при глубинной или скоростной шлифовке, а также при окончательной шлифовке профиля после многосточной предварительной обработки. Глубинная шлифовка осуществляется в два-три прохода с большой глубиной (0,8—2,5 мм на диаметр), но малой скоростью круговой подачи (0,3—0,8 м/мин). Скоростное шлифование производится при малой глубине шлифования и увеличенной круговой подаче (6—160 м/мин).

Резьбошлифование с подачей врезанием многосточным шлифовальным кругом обычно осуществляется за два—четыре оборота изделия, поэтому скорость подачи врезанием целесообразно устанавливать переменной: на 1-м обороте снимать до 0,6 припуска, на 2-м обороте — до 0,4 припуска, а при окончательной

14.28. Режим шлифования резьбы однониточным кругом

Шаг резьбы, мм	Частота вращения изделия *, об/мин, при окружной скорости кругов 35 м/с на керамической связке и 42—55 м/с на вулканитовой и бакелитовой связках и диаметре, мм						Число проходов	Глубина шлифования за проход, мм	
	5—9	10—16	17—29	30—50	52—80	82—90			100—120
Нарезание резьбы по целому закаленному изделию									
До 0,5	11,3	6,8	5,1	4,1	2,5	2,0	1,7	3	0,15—0,025
0,75—1,0	7,8	4,6	3,5	2,9	1,7	1,4	1,1	3	0,35—0,05
1,5	6,9	4,1	3,1	2,6	1,5	1,2	1,0	3	0,55—0,12
Шлифование предварительное до закалки изготовленной резьбы									
1,55	9,4	5,6	4,3	3,5	2,1	1,7	1,4	2	0,20—0,05
1,75—2,5	10,8	6,5	4,9	4,1	2,4	2,0	1,6	3	

* При нарезании и шлифовании резьбы на изделиях из вольфрамованадиевой стали и стали марки Р9 частоту вращения изделия следует снизить на 10—15 %.

обработке — 0,1—0,2 припуска. Многониточное резьбошлифование с продольной подачей осуществляется за один проход. Профиль круга при этом должен иметь заборный конус и калибрующую часть, что достигается правкой круга. Число ниток на заборной части должно быть таким, чтобы обеспечить съём каждой ниткой не более 0,1 мм глубины слоя. В целях выравнивания нагрузки на каждую нитку заборного конуса целесообразно менять высоту и угол профиля каждой нитки так, чтобы длина основания профиля нитки и площадь сечения снимаемого каждой ниткой заборного конуса оставались постоянными. При этом высота профиля каждой нитки равна HK/n , где n — число ниток заборного конуса; H — высота полного профиля; K — число, равное порядковому номеру нитки. Так, при числе ниток 4 первая нитка ($K = 1$) должна иметь высоту $H/4$, вторая ($K = 2$) $H/2$ и т. д. Режимы шлифования резьбы однониточным кругом приведены в табл. 14.28, режимы шлифования резьбы метчиков многониточным кругом с продольной подачей за один проход — в табл. 14.29, режимы накатывания резьбы на многониточных кругах — в табл. 14.30.

Шлифование резьбы метчиков из быстрорежущих сталей целесообразно производить эльборовыми шлифовальными кругами (одно- и многониточными). При однониточном шлифовании используются круги ЛМ2—ЛМ28, Т1, Т2 (для резьб с шагом до 0,75 мм), ЛМ40—Л4, СТЗ—Т1 (для резьб с шагом 0,8—1 мм), Л4—Л6, СТЗ—Т1 (для резьб с шагом более 1 мм). Связка керамическая, 100%-ная концентрация. Режимы обработки: $v = 35 \div 40$ м/с, глубина съёма 0,4—0,5 мм при предварительном и 0,1—0,15 при окончательном шлифовании. Окружная скорость метчиков 0,16—

14.29. Режим шлифования резьбы на закаленных машинно-ручных метчиках
многониточным кругом

Шаг резьбы, мм	Высота круга, мм	Число ни- ток на круге*	Опера- ция **	Припуск, мм	Частота вращения изделия, об/мин, при диаметре \varnothing мм			
					8—10	12— 16	18— 24	25— 30
0,75	25	33	ЧШ	0,49	10,9	8,1	6,1	5,1
			ПШ	0,44	12,1	9,1	6,8	5,7
			ЧШП	0,10	18,7	14,0	10,5	8,8
1,0	32	32	ЧШ	0,65	9,6	7,2	5,4	4,5
			ПШ	0,60	10,0	7,8	5,9	4,9
			ЧШП	0,15	14,5	10,8	8,1	6,8
1,5	50	33	ЧШ	0,97	7,9	5,9	4,4	3,7
			ПШ	0,87	8,9	6,6	4,9	4,1
			ЧШП	0,20	13,4	10,0	7,5	6,3
2,0	63	31	ЧШ	1,30	—	5,1	3,8	3,2
			ПШ	1,20	—	5,5	4,1	3,5
			ЧШП	0,25	—	9,2	6,9	5,8

* Резьбу на метчиках, точность которой должна быть выше точности, достигаемой при многониточном шлифовании, следует нарезать предварительно многониточным кругом, а окончательно — однониточным. Машинно-ручные метчики с шагом менее 1 мм нарезаются однониточным кругом. ** ЧШ — чистовое шлифование по целому; ПШ — предварительное шлифование по целому; ЧШП — чистовое шлифование резьбы, предварительно изготовленной до закалки.

0,3 м/с. Правка однониточных кругов карандашами 01—03 или кругами из карбида кремния зеленого. Правящий круг должен иметь окружную скорость 10—15 м/с, эльборовый — 1—2 м/с, скорость подачи 0,01—0,03 мм/дв. ход.

Многониточное эльборовое шлифование осуществляется с продольной подачей кругами ЛМ40—Л4, СМ2—С1 со скоростью 35—50 м/с при окружной скорости подачи метчика 0,16—0,3 м/мин, глубине 0,1 мм/проход. Профилирование и правка круга — профильными накатными твердосплавными роликами (Т15К6, ВК6, ВК8).

Обработка твердосплавных метчиков осуществляется алмазными кругами по схеме одно, многониточного или комбинированного (предварительное—многониточное, окончательное — однониточное) шлифования. Правка кругов — шлифование абразивными кругами из карбида кремния зеленого при встречном вращении или методом электроабразивной обработки.

Х о н и н г о в а н и е. Представляет собой процесс отделочной обработки, как правило, отверстий, при которой инструменту (хону) сообщается вращательное и возвратно-поступательное

14.30. Режимы накатывания* роликом многониточных шлифовальных кругов для резбошлифования

Показатель	Шаг резьбы, мм			
	0,75	1,0	1,5	2,0
	Наименьшая высота профиля, мм			
	0,53	0,69	1,05	1,38
Минутная подача, мин	$\frac{0,005}{0,0033}$	$\frac{0,005}{0,0033}$	$\frac{0,004}{0,0025}$	$\frac{0,004}{0,0025}$
Время выхаживания, мин	$\frac{4}{3}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{5}{4}$
Глубина врезания ролика за время одного цикла, мм	$\frac{0,02}{0,01}$	$\frac{0,02}{0,01}$	$\frac{0,02}{0,01}$	$\frac{0,02}{0,01}$
Число циклов	$\frac{25}{4}$	$\frac{33}{4}$	$\frac{49}{8}$	$\frac{65}{8}$
Время предварительного накатывания, мин	$\frac{100}{12}$	$\frac{132}{12}$	$\frac{245}{32}$	$\frac{325}{32}$
Время начального обкатывания, мин	6	6	6	6
Общее время накатывания, мин	118	190	283	263

* В числителе — предварительное накатывание, в знаменателе — чистовое накатывание.

перемещение. Шлифующими элементами являются абразивные бруски, закрепляемые в зоне с возможностью перемещения в радиальном направлении и заправленные по форме отверстия. Процесс осуществляется с обильным охлаждением смесью керосина с маслом или специальными эмульсиями. При хонинговании исправляются погрешности формы отверстия, улучшается отделка поверхности. Припуск на хонингование не превышает 0,2 мм, хотя возможен съем и больших припусков. Скорость возвратно-поступательного перемещения 5—20 м/мин, окружная скорость 15—60 м/мин, рекомендуемое их соотношение 1 : 4. Давление брусков на обрабатываемую поверхность составляет 0,15—0,6 МПа (меньшие значения — для окончательной отделки). Материал брусков — электрокорунд белый, карбид кремния, синтетические алмазы, эльбор, кубонит. Зернистость 16—M10, твердость CM1—CT3. Достигаемый параметр шероховатости $R_a = 0,02$ мкм. Правку брусков на соответствующий диаметр обработки осуществляют на круглошлифовальных станках кругами из карбида кремния зернистостью 50. Хонингование алмазными

брусками и брусками из эльбора и кубонита на металлических связках производят и электроэрозионным способом. Хонингованием обрабатываются и наружные цилиндрические поверхности.

С у п е р ф и н и ш и р о в а н и е. Представляет собой процесс отделочной обработки поджимаемыми к изделию брусками, совершающими колебательные движения. Частота колебаний 500—3000 дв. ход/мин, амплитуда 2—5 мм; окружная скорость изделия 8—40 м/мин; давление поджима до 0,4 МПа. Припуск на обработку 10—12 мкм на диаметр. Обрабатываемый материал — чугун, сталь, цветные металлы. Материал брусков ЭБ, КЗ или синтетические алмазы, эльбор, кубонит зернистостью 5—МЗ; связка — керамическая. Твердость при обработке вязких материалов М2—СМ1, при обработке хрупких материалов СМ1—С2. Суперфиниширование производят с поливом СОЖ, в качестве которой применяется смесь керосина и веретенного масла или специальные эмульсии. Достижимый параметр шероховатости $R_a = 0,02$ мкм. Погрешности формы не исправляются.

П о л и р о в а н и е. Является процессом отделочной обработки эластичным инструментом поверхностей различной конфигурации, обеспечивающим их высокое качество без исправления погрешности формы. Полирование эластичным инструментом находит широкое применение и в инструментальном производстве при обработке канавок концевой инструмента. К числу эластичных инструментов, используемых при полировании, относятся фибровые шлифовальные диски, гибкие круги на вулканитовой связке, алмазные эластичные доводочные диски на связке Р1. Зернистость кругов 50—16, достигаемый параметр шероховатости $R_a = 0,16$ мкм.

При использовании полировальных кругов на тканевой или бумажной основе на поверхности кругов вместе со связкой наносят пасты Э, КЗ, из алмазов и эльбора. Скорость полирования 18—35 м/с. Достижимый параметр шероховатости $R_a = 0,02$ мкм.

Полирование и шлифование абразивными лентами осуществляются со скоростью до 30 м/с. При этом обрабатываемая деталь или лента поджимаются друг к другу, изделию сообщается движение подачи, а иногда и осциллирующее движение. Давление поджима не более 0,04 МПа (при обработке цветных металлов и сплавов) и 0,2 МПа (при обработке чугуна и сталей). Режущий материал лент — Э, ЭБ, КЗ, алмазы синтетические, эльбор. При обработке эльборовыми и алмазными лентами достигаемый параметр шероховатости $R_a = 0,03$ мкм.

Обработка свободным абразивным зерном. Разделяется на жидкостную абразивную и турбоабразивную обработку, притирку, доводку пастами.

Жидкостная абразивная обработка — процесс отделки поверхностей смесью жидкости с абразивными зёрнами, подающейся на заготовку со скоростью до 50 м/с под углом 25—40°. Достижимый параметр шероховатости $R_a = 0,16$ мкм. В состав рабочей

жидкости входят 25—50 % массовых долей абразивных зерен и 25—50 % массовых долей содовой эмульсии. Для придания жидкости антикоррозионных свойств в ее состав вводят 0,5—1 % нитрида натрия или другого ингибитора коррозии. Материал абразивных зерен — Э, КЗ, зернистостью 40—10 (при очистке) и М10—М5 (при полировании). Глубина съема металла 0,005 мм.

Турбоабразивная обработка — обработка в псевдокипящем слое, когда под действием сжатого воздуха, подаваемого в контейнер, абразивные зерна, находящиеся в нем, переходят во взвешенное состояние и, перемещаясь, совершают обработку детали, помещенной в этот же контейнер. Иногда изделию сообщают дополнительное вращательное или колебательное движение. Съем металла при окружной скорости изделия 15 м/с достигает 1,5—3 мкм/мин. Процесс применяется не только при полировании, но и при снятии заусенцев, скруглении режущих или иных острых кромок, подготовке поверхности под последующее покрытие.

Притирка и доводка — процессы отделочной обработки с помощью паст или суспензий, содержащих мелкозернистые абразивные порошки и смазку. При притирке кроме отделки поверхности достигается исправление формы изделий, особенно сопрягаемых. Достижимый параметр шероховатости $R_a = 0,02$ мкм при исходной шероховатости $R_a = 1,25—0,16$ мкм. Абразивными материалами служат Э, КЗ, КБ, эльбор, алмаз зернистостью М28—М1. Обработка ведется с помощью притиров (шаржированных абразивными зернами или нешаржированных) плоских или круглых (дисковых). Механизированная притирка и доводка осуществляются при скоростях 5—180 м/мин и давлениях 0,05—0,2 МПа. В этом случае обработка ведется на специальных доводочных станках, изделия закрепляются в сепараторах, которым сообщается колебательное движение. Обрабатываемые изделия должны быть рассортированы по размерам с точностью 0,005—0,01 мм.

С появлением новых абразивных материалов и повышением их режущих свойств доводочные операции переводятся на обработку мелкозернистыми шлифовальными кругами.

Шлифование и заточка режущих инструментов. Одна из самых ответственных операций, влияющих на качество инструмента как нового, так и восстанавливаемого после затупления. Обеспечение высокого качества инструмента во многом достигается правильным выбором характеристик шлифовальных кругов, схемы обработки, режимов шлифования.

В табл. 14.31 приведены рекомендуемые ВНИИАШ [279] характеристики шлифовальных кругов для различных заточных и шлифовальных операций, встречающихся при изготовлении и заточке инструмента. Ориентировочные режимы заточки инструмента из быстрорежущей стали и твердых сплавов даны в табл. 14.32, а инструмента из сверхтвердых материалов на основе кубического нитрида бора — в табл. 14.33. Шлифование при заточке разделяют на многопроходное, глубинное, с врезанием.

При многопроходном шлифовании многозубого инструмента весь припуск снимается за несколько оборотов инструмента (с делением на зуб после каждого прохода). При глубинном шлифовании припуск снимается за один-три прохода. Шлифование с врезанием осуществляют поперечной подачей круга с наложением в ряде случаев продольного (вдоль обрабатываемой поверхности) осциллирующего движения.

Заточку нового инструмента (иногда и переточку) производят, разделяя операцию на черновую, чистовую, доводочную и используя электрокорундовые (черновая обработка), а затем эльборовые (чистовая обработка) круги для обработки быстрорежущего инструмента и круги из карбида кремния, а затем алмазные круги для обработки твердосплавного инструмента.

Круги из карбида кремния при обработке твердосплавной пластины и стальной державки рекомендуется использовать при припуске более 0,5 мм и соотношении площадей шлифуемой державки и пластинки более чем 1 : 1.

Круги из электро- и монокорунда дают наибольший эффект при обработке инструмента из быстрорежущих сталей, в том числе на операциях глубинного шлифования (связка бакелитовая или вулканитовая): заточке сверл, вышлифовке канавок инструмента и др. Круги из эльбора и кубонита предназначены для глубинной, с обильным охлаждением, заточки торцом круга и чистовых операций, на которых обеспечивают получение параметра шероховатости до $R_a = 0,16$ мкм. Алмазные круги на металлической связке используют на заточных черновых и получистовых (иногда и на чистовых) операциях, при вышлифовке стружечных канавок на твердосплавном инструменте, на операциях электроалмазного шлифования. Параметр шероховатости заточенных поверхностей $R_a \geq 0,32$ мкм. Для чистовой заточки ($R_a < 0,32$ мкм) служат круги на керамической (при одновременной обработке твердого сплава со сталью) или органической связках.

Прочие виды абразивной обработки. К ним относятся электроалмазное шлифование, отделка, хонингование с наложением колебаний (частотой до ультразвуковых), высокоскоростное шлифование, электромагнитное шлифование.

Электроалмазное шлифование, отделка, хонингование. Осуществляются с наложением ультразвуковых колебаний с амплитудой 5—25 мкм при круглом и плоском шлифовании алмазными кругами на металлических связках. Колебания частотой до 22 кГц передаются через жидкую среду на поверхность круга и воздействуют как на процесс электрохимического растворения, так и на процессы микрорезания, способствуя очистке поверхности круга от металлической стружки и абразивной пыли. Производительность обработки возрастает в 3—5 раз.

Высокоскоростное шлифование. При обработке стальных заготовок абразивными кругами на специальных связках достигается скорость шлифования до 150 м/с. На станках для вышли-

14.31. Рекомендуемые характеристики шлифовальных кругов при обработке различных инструментов

Изделие	Материал изделия	Операция обработки	Характеристика абразивных инструментов						
			Материал	Зернистость	Степень твердости (для инструментов из эльбора и алмаза, — концентрация абразивных материалов)	Связка			
Гребенки зуборезные	Сталь инструментальная быстрорежущая закаленная	Обработка рабочей части зубьев: фасонное шлифование заточка доводка	91А; 23А; 24А	25—16	СМ1—СМ2	К			
			ЛО	16—8	СМ1—С1, 100 %	К			
			91А; 23А; 24А	25—16	М3—СМ1	К			
			63С	6—5	М3—СМ1	Б			
			ЛО	16—5	СМ2—С2, 100 %	К			
			ЛО	М14—М40	100 %	Б			
			91А; 23А; 24А	16—12	СМ2—С1	К			
			91А; 23А; 24А	25—16	СМ2—С1	К			
			Гребенки резьбовые круглые	То же	Круглое наружное шлифование Шлифование резьбы с шагом, мм: до 1 1—1,5 1,5—2,5 До 4	23А; 24А	М40—М28	С1—С2	К
						24А; 25А	5—М40	СМ2—С1	К
24А; 25А	6—5	СМ1—СМ2				К			
24А; 25А	10—6	М3—СМ1				К			
Долбяки зуборезные	»	Плоское шлифование: торцом круга периферией круга Шлифование зубьев с модулем: $m \leq 1$ $m = 2$ $m = 3 \div 4$ $m = 5 \div 6$	91А; 23А	50—40	М3—СМ1	К			
			91А; 23А	40—25	СМ1—СМ2	Б			
			ЛО	16—8	100 %	Б			
			91А; 23А; 24А	25—16	СМ1—СМ2	К			
			23А; 24А	10—8	СМ1—СМ2	К			
			91А; 23А; 24А	16—12	СМ2—М3	К			
			91А; 23А; 24А	25—16	М2—М3	К			
			91А; 23А; 24А	40—25	М3—СМ1	К			
			ЛО	16—8	СМ2, 100 %	К			

Метчики	Сталь инструментальная углеродистая и быстрорежущая незакаленная	Заточка	91А; 24А	40—25	М3—СМ1	К	
		Доводка	ЛО	12—8	100 %	Б	
Ножи вставные для раз-верток	Сталь инструментальная углеродистая и быстрорежущая закаленная	Круглое обдирочное шлифование	ЛО	6—5	100 %	Б	
		14А; 15А	50—40	СТ2—СТ3	Б		
		Плоское шлифование квадрата	15А; 91А; 23А	40—25	С1—С2	К	
		Плоское шлифование	ЛО	10—8	100 %	Б	
Ножи вставные для фрез	Сталь инструментальная быстрорежущая закаленная	Плоское шлифование: предварительное окончательное	91А; 23А; 24А	40—25	М3—СМ1	К	
		14А; 15А	50—40	СМ2—С1	Б		
		ЛО	16—5	СМ2—С2, 100 %	К		
		Заточка	91А; 23А; 24А	25—16	СМ1—СМ2	К	
		Доводка	63С	6—5	С1—С2	Б	
		Заточка	63С; 64С	25—16	СМ1—СМ2	К	
Твердый сплав	Сталь инструментальная быстрорежущая закаленная	Доводка	АСР	80/63	100 %	Б	
		Плоское шлифование	91А; 23А; 24А	40—25	С1—С2	К	
		91А; 23А; 24А	16—12	СТ1—СТ2	К		
Твердые сплавы	Сталь инструментальная быстрорежущая закаленная	Заточка	91А; 23А; 24А	40—25	СТ1—СТ2	К	
		63С; 64С	25—16	СМ1—СМ2	К		
		Доводка	АСР	80/63	100 %	Б	
Плашки круглые	Сталь инструментальная быстрорежущая закаленная	Плоское шлифование: периферией круга торцом круга	91А; 23А; 24А	40—25	СМ—С1	К	
		14А; 15А	50—40	СМ2—С1	Б		
		Внутреннее шлифование	91А; 23А	20—12	СТ1—СТ2	К	
Протяжки круглые	То же	Заточка	91А; 24А; 25А	20—12	СТ1—СТ2	К	
		Круглое наружное шлифование	91А; 23А	25—16	СМ1—СМ2	К	
			24А	16—5	СМ2, 100 %	К	
		Шлифование шлицев	ЛО			М3—СМ2	К
			43А; 44А	25—16	СМ2—С2	К	
		ЛО	12—8	100 %	К		

Изделие	Материал изделия	Операция обработки	Характеристика абразивных инструментов			
			Материал	Зернистость	Степень твердости (для инструментов из эльбора и алма- за — концентрация абразивных материалов)	Связка
Протяжки плоские	Сталь инструменталь- ная быстрорежущая за- каленная	Обработка передней по- верхности зубьев: заточка	91А; 23А; 24А	25—16	СМ2—С1	К
			43А; 44А	25—16	С1—С2	К
			ЛО	8—5	100 %	Б
			ЛО	12—6	СМ1—С1, 100 %	К
		доводка	63С	6—5	СМ2—С1	Б
		Плоское шлифование	91А; 23А; 24А	40—25	СМ2—С1	К
Развертки	Сталь инструменталь- ная и легированная за- каленная		43А; 44А	40—16	М3—СМ2	К
			ЛО	16—5	СМ2—С2, 100 %	К
		Заточка передней и шлифование задней по- верхности зубьев	91А; 23А; 24А	25—16	СМ2—С1	К
			ЛО	12—8	100 %	Б
		Круглое наружное шли- фование:				
		предварительное	91А; 23А; 24А	40—25	СМ2—С2	К
		окончательное	91А; 24А; 25А	25—16	СМ2—С1	К
			43А; 44А	25—20	С1—С2	К
		Плоское шлифование задних граней	23А; 24А	40—25	СМ1—СМ2	К
		Обработка передних граней:				
		заточка	93А; 13А; 91А; 24А	25—16	СМ1—СМ2	К
			43А	40—25	М3—СМ1	К
	ЛО	12—8	100 %	Б		
	ЛО	6—5	100 %	Б		
	Твердые сплавы	Обработка передних граней:				

Резцы	Сталь конструкционная незакаленная	заточка	63С	25—16	M3—СМ1	К	
		доводка	АСР	80/63	100 %	Б	
	Сталь инструментальная углеродистая и быстрорежущая закаленная	Заточка державки	14А; 15А; 93А	50—40	С1—С2	К	
		Заточка рабочей части: предварительная	91А; 23А; 24А	40—25	СМ2—С1	К	
Твердый сплав	окончательная	окончательная	91А; 23А; 24А	16	СМ1—СМ2	К	
		Доводка рабочей части	ЛО	12—8	100 %	Б	
	Заточка рабочей части: предварительная	Заточка рабочей части	63С	6—5	СМ2—С1	Б	
		окончательная	63С	40—25	СМ1—СМ2	К	
	Доводка рабочей части	окончательная	63С	40—25	С1—С2	Б	
		окончательная	63С; 54С	25—16	M3—СМ1	К	
		окончательная	63С; 64С	25—16	СМ1—СМ2	Б	
		окончательная	63С; 64С	6—5	СМ2—С1	Б	
	Сверла	Сталь быстрорежущая закаленная	Доводка рабочей части	АСР	125/100	100 %	М
			Доводка рабочей части	АСР	100/80	100 %	Б
Бесцентровое шлифование		Бесцентровое шлифование	91А	40—25	С1—СТ1	К	
		Заточка	23А; 24А	40—25	СМ2—С2	К	
Заточка		Заточка	23А; 24А	25—16	СМ1—СМ2	К	
		Заточка	ЛП, ЛО	6—8	С2—СТ3, 100 %	К	
Фрезы двухугловые несимметричные		То же	Заточка: передней грани	23А; 24А	40—25	СМ1—СМ2	К
			Заточка: задней грани	23А; 24А	25—16	СМ2—С1	К
		Доводка	Доводка	43А	20—25	СМ2—С1	К
			Доводка	63С	6—5	С2—СТ1	Б
Фрезы дисковые двух- и трехсторонние	»	Доводка	ЛО	5—6	100 %	Б	
		Заточка	23А; 24А	25—16	СМ2—С1	К	
	Доводка	Доводка	43А	40—25	СМ2—С1	К	
		Доводка	63С	6—5	С2—СТ1	Б	
Фрезы дисковые модульные	»	Доводка	ЛО	5—6	100 %	Б	
		Заточка	23А; 24А	25—16	СМ2—С1	К	
	Доводка	ЛО	8—12	100 %	Б		
		Доводка	63С	6—5	С2—СТ1	Б	
		Доводка	ЛО	5—6	100 %	Б	

Изделие	Материал изделия	Операция обработки	Характеристика абразивных инструментов			
			Материал	Зернистость	Степень твердости (для инструментов из эльбора и алма- за — концентрация абразивных материалов)	Связка
Фрезы торцовые со вставны- ми ножами	Твердый сплав	Заточка Доводка	63С; 64С АСР	25—16 125/100— 100/80	М3—СМ1 100 %	К Б
	Сталь быстрорежущая закаленная	Плоское шлифование: торцом круга периферией круга Внутреннее шлифова- ние	23А; 24А 91А; 23А; 24А 91А; 24А; 24А	50—40 40—25 40—25	М3—СМ1 СМ1—СМ2 СМ1—СМ2	К К К
Фрезы червячные	Сталь быстрорежущая закаленная	Заточка	23А; 24А ЛО	40—25 8—12	СМ1—СМ2 100 %	К Б
		Доводка	63С ЛО	6—5 5—6	СМ2—С1 100 %	Б Б
Фрезы шлицевые	То же	Плоское шлифование	93А; 14А; 15А	40—25	СМ1—СМ2	К
		Внутреннее шлифование	91А; 23А; 24А	40—25	СМ1—СМ2	К
		Шлифование профиля зуба	23А; 24А	25—16	СМ2—С1	К
		Заточка	23А; 24А 43А	25—16 40—25	СМ1—СМ2 М3—СМ1	К К
		Шлифование профиля	ЛО	8—12	100 %	Б
			91А; 23А; 24А	16—12	СМ2—С1	К
Заточка	43А	25—16	М3—С1	К		
	23А; 24А	40—25	С1—С2	К		
	43А	40—25	М3—СМ1	К		
	ЛО	8—5	100 %	Б		
	ЛО	12—6	СМ1—С1, 100 %	К		

14.32. Режимы резания при заточке инструмента

Материал обрабатываемого инструмента	Характеристика шлифовального круга		Режимы обработки					
	Абразивный материал	Связка	Скорость шлифования v , м/с	Продольная и поперечная подача при шлифовании				
				многопроходном		глубинном		врезанием
				$S_{пр}$, м/мин	$S_{поп.}$, мм/дв. ход	$S_{пр}$, м/мин	$S_{поп.}$, мм/дв. ход	
Быстро-режущая сталь	Электрокорунд, монокорунд	Керамическая	18—25	3—15	0,03—0,06	—	—	1—8
		Бакелитовая, вулканическая	40—80	—	—	0,3—2	0,2—2 *	—
	Эльбор	Органическая, керамическая	20—30	1—4	0,01—0,03	0,05—1	0,2—0,5	—
	Алмаз	Органическая	15—20	0,5—1	0,005—0,01	—	—	—
Твердый сплав	Карбид кремния	Керамическая, бакелитовая	6—15	5—8	0,08—0,12	—	—	4—12
	Алмаз	Металлическая	15—20	2—3	0,05—0,08	0,01—0,5	0,2—1 **	0,5—4
		Керамическая	25—35	1,5—2	0,03—0,05	—	—	—
		Органическая	25—30	0,5—2	0,005—0,02	—	—	0,3—1

* При вышлифовывании до 8 мм. ** При вышлифовывании до 5 мм.

14.33. Рекомендуемые режимы резания при заточке и доводке резцов и державок фрез, оснащенных сверхтвердыми синтетическими материалами на основе кубического нитрида бора

Операция	Характеристика шлифовального круга, пасты	Станок	Скорость круга, м/с	Продольная подача, м/мин	Глубина резания, мм/дв. ход
Предварительная обработка корпуса (державки)	24А 25 СМ2 К	Заточной типа ЗА64М	25	3	0,04
Заточка по главной и вспомогательной задним поверхностям под углом α	АСО 80/63—125/100 Б1 100 %		25	1	0,01—0,02
Заточка по передней поверхности под углом γ	АСО 80/63—125/100 Б1 100 %		25	1	0,01—0,02
Доводка передней поверхности под углом γ	АСМ 28/20—14/10 Б1 100 %	Заточной типа ЗА64М	25	0,5	0,005
	Паста АМ, АСМ 28/20—20/14	Притирочный	—	—	—
Доводка главной задней поверхности под углом α , вершины резца по радиусу r и по вспомогательной задней поверхности под углом α_1	АСМ 3/2 — Б1 100 %	Заточной типа ЗА64М	25	0,5	0,005
	Паста АМ, СМ 28/20—20/14	Притирочный	—	—	—

Примечание. Заточку и доводку рекомендуется производить с применением СОЖ

**14.34. Рекомендуемые способы хранения
шлифовальных кругов, головок, брусков и сегментов**

Абразивный инструмент	Размеры инструмента, мм	Способ хранения				
		в ящиках или коробках	на ребре	стопкой высотой мм, не более		
				300	600	1090
Круги ПП, ПВ, К, ПВД ПДК, ПВДК 2П, 3П Д ПР и ПН ЧЦ 1Т, 2Т, 3Т, 4Т И КС Головки всех форм (ГОСТ 2447—82) Бруски (ГОСТ 2456—82) Сегменты (ГОСТ 2464—82*)	Диаметром до 70	×				
	Диаметром свыше 70 до 500		×			×
	Диаметром свыше 500		×			×
	Всех размеров				×	
	» »				×	
	» »		×		×	
	Диаметром до 200				×	
	Диаметром свыше 200					×
	Всех размеров			×		
	» »					×
» »		×				
» »		×				
» »		×				
» »		×				
» »				×	×	
» »				×	×	

Примечание Знаком «×» отмечен способ хранения инструмента

фовки канавок сверл и квадратов метчиков скорость шлифования достигает 100 м/с. При исследованиях алмазного высокоскоростного шлифования установлено, что при скоростях 250 м/с составляющие сил резания уменьшаются в два-три раза (по сравнению с силами резания при скорости 60 м/с), снижаются износ алмаза и деформация обработанного поверхностного слоя.

Электромагнитное шлифование. Осуществляется абразивными зернами с металлическим покрытием. Под воздействием магнитного поля зерна располагаются вдоль магнитных полей, а перемещение изделия поперек полей обеспечивает обработку с высоким качеством его поверхности. Этим способом обрабатываются сверла, метчики из быстрорежущих сталей и твердых сплавов и другие виды изделий.

Особенности контроля, эксплуатации и хранения абразивного инструмента. *Хранение абразивных инструментов.* Абразивные инструменты подлежат хранению в специальных помещениях, не подверженных сотрясениям, при температуре не ниже 5° и влажности воздуха не более 65 % (табл. 14.34).

**14.35. Значения допустимой неуравновешенной массы
шлифовального круга, г**

Масса шлифовального круга, кг	Класс неуравновешенности			
	1-й	2-й	3-й	4-й
От 0,20 до 0,25	2,5	4,0	6,0	12,0
Свыше 0,25 до 0,30	2,5	4,5	7,0	14,0
» 0,30 » 0,40	3,0	5,0	7,5	15,0
» 0,40 » 0,50	3,5	5,5	9,0	17,0
» 0,50 » 0,63	4,0	6,0	10,0	20,0
» 0,63 » 0,80	4,5	7,0	11,0	22,0
» 0,80 » 1,00	5,0	7,5	12,0	25,0
» 1,0 » 1,25	5,5	9,0	14,0	27,0
» 1,25 » 1,60	6,0	10,0	15,0	30,0
» 1,60 » 2,00	7,0	11,0	17,0	35,0
» 2,00 » 2,50	7,5	12,0	20,0	40,0
» 2,50 » 3,00	9,0	14,0	22,0	45,0
» 3,00 » 4,00	10,0	15,0	25,0	50,0
» 4,00 » 5,00	11,0	17,0	27,0	55,0
» 5,00 » 6,30	12,0	20,0	30,0	60,0
» 6,30 » 8,00	14,0	22,0	35,0	70,0
» 8,00 » 10,00	15,0	25,0	40,0	75,0
» 10,00 » 12,50	17,0	27,0	45,0	85,0
» 12,50 » 16,00	20,0	30,0	50,0	95,0
» 16,00 » 20,00	22,0	35,0	55,0	110,0
» 20,00 » 25,00	25,0	40,0	60,0	120,0
» 25,00 » 30,00	27,0	45,0	65,0	135,0
» 30,00 » 40,00	30,0	50,0	75,0	150,0
» 40,00 » 50,00	35,0	55,0	85,0	170,0
» 50,00 » 69,00	40,0	60,0	95,0	190,0
» 69,00 » 80,00	45,0	65,0	110,0	215,0
» 80,00 » 100,00	50,0	75,0	120,0	240,0
» 100,00 » 125,00	55,0	85,0	135,0	270,0
» 125,00 » 160,00	60,0	95,0	150,0	300,0
» 160,00 » 200,00	70,0	110,0	170,0	340,0
» 200,00 » 250,00	75,0	120,0	190,0	380,0
» 250,00 » 300,00	85,0	130,0	210,0	420,0

Тканевые и бумажные шлифовальные шкурки укладываются перекрестно штабелями высотой до 9 рядов. Водостойкая бумажная шлифовальная шкурка должна храниться в хорошо вентилируемых помещениях в пакетах, а пакеты — в штабелях высотой до 1 м. Расстояние между пакетами в ряду не менее 50 мм, между штабелями — не менее 1 м. При хранении такой шкурки необходимо постоянно контролировать температуру пакета.

Подготовка инструмента к работе. Контроль наличия трещин производят внешним осмотром, простукиванием — круги с трещинами издадут дребезжащий звук. Контроль геометрических размеров — непосредственным измерением. Контроль твердости кругов (ГОСТ 18118—79*, ГОСТ 19202—80, ГОСТ 21323—75) — с помощью приборов типа ТР («Роквелл»), ТКВ (модернизированный «Роквелл»), «Звук 107-01», «Звук 107-02», «Звук 202-01» или

«Звук 202-02», пескоструйных приборов. Контроль неуравновешенности (ГОСТ 3060—75) осуществляют на балансировочных станках или приспособлениях. Балансировку рекомендуется производить вместе с крепежными фланцами на самом станке с помощью специальных устройств. Значения допустимой неуравновешенности массы шлифовального круга приведены в табл. 14.35. Балансировка кругов производится после испытания на периферическую скорость, которая устанавливается равной:

Для шлифовальных кругов на керамической и органической связках при наружном диаметре круга более 150 мм и рабочей скорости $v_p < 40$ м/с	1,5 v_p
Для тех же и эльборовых кругов при диаметре более 30 мм и рабочей скорости:	
$v_p = 40 \div 50$ м/с	1,4 v_p
$v_p = 60 \div 80$ м/с	1,3 v_p
Для отрезных кругов (типа Д) при диаметре более 250 мм и $v_p < 80$ м/с	1,3 v_p
Для полировальных кругов на вулканитовой связке при диаметре, равном 200 мм, и $v_p \leq 25$ м/с	1,3 v_p

Алмазные круги подвергаются динамической балансировке на специальных станках. Испытание кругов на прочность регламентирует ГОСТ 12.3.028—82*. Круги диаметром свыше 150 мм, работающие на скоростях более 40 м/с, должны подвергаться испытаниям на прочность (кроме кругов типов ПН, ПР, ПНР, ПНВ, К и скоростных кругов диаметром менее 30 мм). Не подвергаются испытаниям сегменты и бруски всех типов. Окружная скорость при испытаниях алмазных кругов выбирается в соответствии с табл. 14.36. Круги при испытаниях закрепляются на валу испытательного станка непосредственно или с помощью фланцев (ГОСТ 2270—78).

14.36. Предельно допустимые окружные скорости алмазных кругов

Форма круга	Окружная скорость, м/с, кругов на связке		
	керамической	органической	металлической
1A1; 14U1; 14A1	30	35	40
A8	—	25	30
6A2, 12A2-45°	35	35	35
9A3	25	30	35
12V5-45°, 12V5-20°, 12D9,	—	35	35
12R4			
12A2-20°	—	30	35
Прочие	—	30	30

Изменение твердости инструмента в зависимости от условий эксплуатации. Для повышения твердости абразивного инструмента на керамической связке применяется бакелизация, которая заключается в пропитке инструмента в бакелитовом растворе, содержащем лак бакелитовый (ГОСТ 901—78*) и растворитель — смесь из 70 % гидролизного этилового спирта (ГОСТ 131—67*) и 30 % воды (табл. 14.37).

14.37. Количество лака при пропитке инструмента

Твердость до пропитки	Твердость после пропитки	Массовая доля * лака, %	Твердость до пропитки	Твердость после пропитки	Массовая доля * лака, %
МЗ	СМ1	10/20	С1	С2	20/50
	СМ2	20/50		СТ1	30
	С1	30		СТ2	50
	С2	50			
СМ1	СМ2	10/30	С2	СТ1	20/50
	С1	20/50		СТ2	40
	С2	40	СТ1	СТ2	30
СМ2	С1	10/40		СТ3	50
	С2	30	СТ2	Т1	40
	СТ1	50		Т1	60

* В знаменателе указана массовая доля лака для инструмента зернистостью 25—12, в остальных случаях для инструмента зернистостью 50—40.

Пропитка осуществляется с переворотом: пропитывают одну часть, затем другую. Сушка сначала естественная, вместе со шкафом, затем искусственная, в три цикла: при температуре 100 °С выдерживают 1 ч, при 140 °С — 1 ч, при 180 °С — 4 ч. Охлаждают вместе со шкафом.

При необходимости понизить твердость инструмента на керамической связке его окунают в кипящий 20 %-ный водный раствор каустической соды (ГОСТ 2263—79*) и выдерживают в растворе от 3 до 150 мин в зависимости от зернистости инструмента и требуемой твердости. Затем инструмент промывают в течение двух часов в проточной воде и сушат сначала на воздухе около 1 ч, а затем в сушильном шкафу при 100—120 °С в течение 2 ч. После обработки инструмент проверяют на твердость, отсутствие трещин (простукиванием), механическую прочность при окружных скоростях $1,6v_p$ (см. табл. 14.35).

Эксплуатация абразивного инструмента. Крепление инструмента на станках осуществляется механическим способом с помощью оправок, фланцев или путем наклейки (кольцевые круги, хонинговальные бруски). Крепление кругов — на оправках и фланцах. Шлифовальные круги после установки на станок необходимо заправить и отбалансировать. Зона шлифования должна быть закрыта кожухами или другими способами для обеспечения безопасной работы.

Режимы обработки. Зависят от обрабатываемого материала, формы и размеров изделий, состояния оборудования. Скорость шлифования выбирается близкой к допустимой окружной скорости круга и в соответствии с возможностями станка (табл. 14.38). С уменьшением окружной скорости круг изнашивается быстрее, что требует применения более твердых кругов. Очевидно, что при

14.38. Рабочие скорости шлифовального круга σ_p

Инструмент, тип	Подача инструмента	Скорость инструмента, м/с на связке		
		керамической	баке-литовой	вулканитовой
<i>Инструмент для шлифования с рабочей скоростью 25—40 м/с</i>				
Круги плоские прямого профиля ПП	Ручная	30	40	35
	Механическая или автоматическая	35	40	35
Круги плоские с двусторонним коническим профилем 2П	То же	35	35	—
Круги плоские с коническим профилем 3П	»	—	35	—
Круги плоские с выточкой ПВ	Ручная	25	—	—
	Механическая	35	35	—
Круги плоские с конической выточкой ПВК	То же	30	—	—
	»	35	35	—
Круги плоские с двусторонней выточкой ПВД	»	30	—	—
Круги плоские с двусторонней конической выточкой ПВДК	»	30	—	—
Круги плоские специальные рифленые ПР	Ручная	—	30	—
Круги плоские специальные наращенные ПН	Механическая или автоматическая	—	35	—
Круги кольцевые К	Механическая	25	30	25
Круги чашечные цилиндрические ЧЦ	Ручная	25	30	—
	Механическая	30	35	—
Круги чашечные конические ЧК	Ручная	25	30	—
	Механическая	30	35	—
Круги тарельчатые Т	Механическая	30	30	—
	или автоматическая			
Круги для разрезания минералов М	То же	—	40	—
Головки шлифовальные всех типов	»	25	25	—
<i>Круги для шлифования с рабочей скоростью более 40 м/с</i>				
Круги плоские прямого профиля для обдирочного шлифования ПП:	Ручная	50	60	—
	Механическая или автоматическая	50—65	—	50—65
	Механическая или ручная	50	50—60	50—60
диаметром до 150 мм всех высот для шлифовальных работ				
диаметром 175 мм и более, всех зернистостей и твердостей для шлифовальных работ				

Инструмент, тип	Подача инструмента	Скорость инструмента, м/с, на связке		
		керамической	баке-литовой	вулканитовой
диаметром 175 мм и более, всех высот, зернистостью 25 и мельче, твердостью СМ и тверже для шлифовальных работ Круги отрезные Д	Механическая или автоматическая	50—60	50—60	50—60
	Механическая или ручная То же	— 55	50—80 55	60 —
Круги плоские 2П с двусторонним коническим профилем для нарезания и шлифования резьбы, зернистостью 12 и мельче				

изнашивании круга уменьшается его диаметр, а значит и скорость резания и производительность. В связи с этим на станках целесообразно иметь регулируемый привод вращения круга, увеличивающий частоту вращения при его изнашивании. При чистовой обработке и обработке труднообрабатываемых материалов скорость резания уменьшают. При работе на станках, не имеющих достаточно быстроходных шпинделей (особенно при внутреннем шлифовании), обработку производят более твердыми кругами.

Припуск на шлифование зависит от вида обработки. Обычно шлифование осуществляют за три операции: предварительное (снимается 0,5—0,6 припуска), чистовое (снимается 0,3—0,35 припуска) и окончательное (снимается 0,05—0,1 припуска). Однако при обдирочных работах, при глубинном шлифовании, припуск значительно увеличивают (до 12 мм).

Подача влияет на производительность обработки, поэтому целесообразно применять станки с механической подачей, равномерно нагружающей круг. Ручная, неравномерная подача требует применения кругов большей твердости. Для повышения производительности шлифования подачу целесообразно изменять пропорционально изменению скорости круга. Соотношение скорости круга (v_k) и скорости подачи изделия (v_n) $q = v_k/v_n$ при обработке различных материалов выбирается по табл. 14.39. При чистовом шлифовании q увеличивают в два—четыре раза.

В зависимости от вида обработки и требований к точности и чистоте обработки шлифовальные станки должны соответствовать классам П, В и А. Исключением являются станки для обдирочных работ, отрезные и другие станки для грубого шлифования.

14.39. Рекомендуемые значения q

Обрабатываемый материал	Материал круга	Степень твердости круга и значение q									
		Круглое шлифование		Внутреннее шлифование		Плоское шлифование					
						торцом		периферией		сегментами	
		q	Степень твердости	q	Степень твердости	q	Степень твердости	q	Степень твердости	q	Степень твердости
Сталь закаленная	Корунд	125	K	80	J	80	K	50	I	50	J
Сталь незакаленная	Корунд	125	L	80	K	80	K	50	J	50	K
Чугун	Карбид кремния	100	L	63	K	63	L	40	J	40	K
Медь, бронза, латунь		80	J	50	J	50	J	32	H	32	I
Легкие сплавы		50	I	32	H	32	I	20	G	20	H

Примечание. Зернистость кругов: 25 — при круглом шлифовании; 50 — при внутреннем шлифовании и плоском шлифовании торцом круга; 63 — при плоском шлифовании периферией круга или сегментами.

Форма и размер обрабатываемого изделия оказывают существенное влияние на процесс шлифования. Массивные, хорошо отводящие тепло изделия позволяют применять более твердые круги, ускорять режимы обработки. Тонкостенные изделия требуют применения мягких кругов открытых структур. С увеличением площади контактного шлифовального круга с изделием, а также с увеличением диаметра изделия твердость кругов должна уменьшаться.

Изделия с прерывистыми поверхностями, способствующими самозатачиванию, а также инструмент с прерывистой поверхностью позволяют вести обработку более твердыми кругами; они применяются и при профильном шлифовании.

В процессе обработки шлифовальные круги должны подвергаться правке, при которой удаляются затупившиеся зерна, связка и металлическая стружка. Толщина слоя, удаляемая при правке, равна $(0,15 \div 0,2) d_3$ мм, где d_3 — средний размер абразивного зерна, мм. Изнашивание шлифовального круга за период между двумя правками с учетом толщины слоя, удаляемого

14.40. Мощность при шлифовании

Вид шлифования	Расчетная формула				
Круглое наружное: с продольной подачей	$N = 0,208 (v_n S_0 t)^{0,7} D_n^{0,25} B_k^{0,25} K_1 K_2$				
	с радиальной подачей	$N = 0,132 (v_n t)^{0,7} D_n^{0,25} L_n K_1 K_2$			
Внутреннее с продольной подачей	$N = 0,231 (v_n S_0 t)^{0,7} D_n^{0,25} B_k^{0,25} K_1 K_2$				
Бесцентровое: с продольной подачей	$N = 0,237 (v_n S_0 t)^{0,7} D_n^{0,25} B_k K_1 K_2$				
	с радиальной подачей	$N = 0,151 (v_n t)^{0,7} D_n^{0,25} L_n K_1 K_2$			
Плоское на станках с прямоугольным столом: периферией круга	$N = 0,63 (v_n S_0 t)^{0,7} B_k^{0,25} K_1 K_2$				
	торцом круга	$N = 0,73 (v_n B_{пр} t)^{0,7} B_k^{0,25} K_1 K_2$			
Плоское на станках с круглым столом: периферией круга	$N = 0,63 (v_n S_0 t)^{0,7} B_k^{0,25} K_1 K_2$				
	торцом круга	$N = 0,73 (v_n B_{пр} t)^{0,7} B_k^{0,25} K_1 K_2$			
Примечания: 1. Значения коэффициента K_1 приведены ниже:					
Твердость круга	M2—M3	CM1—CM2	C1—C2	CT1—CT2	CT3—T1
K_1	0,9	1,0	1,16	1,36	1,58
2. Значения коэффициента K_2 приведены ниже:					
Материал	Жаропрочная сталь	Закаленная сталь	Незакаленная сталь	Чугун	
K_2	1,2	1,1	1,0	0,9	
3. Приняты следующие обозначения: v_n — скорость детали, м/мин; S_0 — продольная подача, мм/об, или поперечная подача, мм/ход; $B_{пр}$ — приведенная, т. е. сплошная, ширина шлифования, мм; t — глубина шлифования, мм; D_n — диаметр детали, мм; B_k — ширина круга, мм; L_n — ширина шлифуемой поверхности, мм; N — мощность, кВт.					

при правке, составляет: при правке алмазным инструментом — $0,25d_3$, при правке кругами из карбида кремния — $0,29d_3$, при правке стальными дисками — $0,325d_3$. При профильном шлифовании и шлифовании врезанием толщина удаляемого слоя зависит от формы профиля, степени размера его износа. Износ шлифовальных кругов увеличивается еще и за счет необходимости более частой правки.

Алмазные и эльборовые круги после установки на шпиндель станка подвергаются проверке индикатором на биение рабочего слоя (не менее чем в 8 точках, равномерно расположенных на рабочей поверхности). Допустимое биение $0,02$ мм при получистовых заточных работах и $0,01$ мм при чистовом и доводочном шлифовании. При биении свыше допустимого круг необходимо заправить. Снимать круги со станка следует только при их замене. При новой установке круга проверку необходимо провести заново.

Силы резания и мощность при шлифовании. Мощность при шлифовании рассчитывают по формулам, приведенным в табл. 14.40. Составляющую силы резания P_z определяют через мощность по формулам, приведенным в предыдущих главах. Составляющая силы резания $P_y \approx (2 \div 3) P_z$.