

Материалы для абразивного инструмента. Обзор.

07, июль 2013

DOI: 10.7463/0713.0577449

Овчинников А. И.

УДК 621.921

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

alex-ai@yandex.ru

Введение

Абразивный инструмент применяется, в основном, на окончательных (финишных) операциях обработки функциональных поверхностей деталей, поэтому от его характеристик зависит работоспособность изделия в целом. За многие столетия существования, несомненно, была проведена серьезная оптимизация параметров его структуры, что резко повысило производительность, точность и качество обработки. В то же время исследования в этом направлении продолжают и в настоящее время.

Современной тенденцией является унификация обозначений различных характеристик абразивных материалов и инструмента в целом. Выгода при таком подходе очевидна – начиная от адекватной расшифровки маркировки на абразивном инструменте и заканчивая технически правильным оформлением заказа на изготовление или покупку инструмента под конкретные потребности предприятия. К сожалению, сейчас наблюдается переходный период, когда еще широко используются инструменты со старыми обозначениями, российские производители частично начинают выпускать абразивные инструменты с новыми обозначениями, а на рынке преобладают импортные инструментами со своей маркировкой. В данной статье сделана попытка на основе современных ГОСТов восполнить этот информационный пробел.

Общие положения

Режущий инструмент, рабочая часть которого содержит классифицированные частицы абразивного материала, называют **абразивным**. Измельченный и классифицированный абразивный материал, твердость которого превышает твердость обрабатываемого материала и который способен осуществлять обработку резанием, называют **шлифовальным**. В зависимости от вида

используемого абразивного материала различают алмазные, эльборовые, электрокорундовые, карбид-кремниевые и другие абразивные инструменты. За исключением алмаза, другие природные абразивные материалы (наждак, корунд, кремь и др.) практически не используются в промышленности из-за нестабильности их свойств, поэтому в дальнейшем не рассматриваются.

Основные понятия и определения по абразивной обработке, материалам и инструментам приведены в соответствующих стандартах [1-3].

Таблица 1

Основные свойства шлифовальных материалов

Абразивный материал	Микротвердость, ГПа	Предел прочности на сжатие, МПа	Теплостойкость, °С	Относительная абразивная способность
Алмаз природный	96...100	500	700...800	1,0
Алмаз синтетический	85...98	500	650...800	0,9
Эльбор (кубический нитрид бора – КНБ)	75...98	400	1400...1500	0,78
Карбид бора	35...45	-	700...800	0,65
Карбид кремния	29...36	2 200	1300...1400	0,5
Электрокорунд нормальный	18...20	1 800	1250...1300	0,19
Электрокорунд хромистый	20...22	1 600	1700...1800	0,13
Электрокорунд белый	20...21	1 800	1700...1800	0,2

Примечание: свойства шлифовальных материалов приведены ориентировочно.

Марки шлифовальных материалов

Таблица 2

Марки шлифовальных материалов и области их применения [4, 5]

Шлифовальный материал	Обозначение	Область применения	
		Абразивный инструмент	Обработка
Электрокорунды: нормальный с содержанием α -Al ₂ O ₃ , 91%	12А	Абразивный инструмент на керамической и органической связках, шлифовальная шкурка, свободное зерно	Грубая, черновая абразивная обработка

92%	13A		
93%	14A	Круги, шлифовальная шкурка, бруски	
95%	15A	Абразивный инструмент на керамической связке, в том числе прецизионный классов AA, A, шлифовальная шкурка	Шлифование сталей в закаленном состоянии, заточка быстрорежущих инструментов, отделочная обработка шкуркой
97%	16A	Круги, бруски, шлифовальная шкурка	
белый с содержанием $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, 97%	23A	Круги, бруски, свободное зерно, пасты, шлифовальная шкурка	Шлифование стальных заготовок, отделочная абразивная обработка
98%	24A	Круги, бруски, шлифовальная шкурка	Чистовое и профильное шлифование закаленных сталей, заточка быстрорежущих инструментов, отделочная абразивная обработка
99%	25A	Круги, бруски, шлифовальная шкурка, пасты	Окончательное, профильное шлифование и резбошлифование заготовок из закаленных сталей
хромистый с содержанием $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, 97%	32A 33A 34A	Круги на керамической связке, бруски, сегменты, шлифовальная шкурка, пасты, прецизионный абразивный инструмент	Шлифование на интенсивных режимах сталей в закаленном и незакаленном состоянии, заточка быстрорежущих инструментов, отделочное шлифование

титанистый	37А	Отрезные и шлифовальные круги, шлифовальная шкурка	Обдирочное, предварительное шлифование с увеличенным съемом материала
циркониевый	38А		
монокорунд с содержанием $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, 96,5%...97,4%	43А	Свободное зерно, пасты, шлифовальная шкурка, бруски	Окончательная обработка легированных, коррозионностойких, жаропрочных сталей и сплавов
97,7% 98,5%	44А 45А	Круги, шлифовальные шкурка, бруски	Шлифование труднообрабатываемых сталей и сплавов, заточка и доводка режущего инструмента
сфорокорунд с содержанием $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ - 99 %:	СФК (ЭС)	Круги, бруски из полых сферических зерен	Обработка вязких и мягких материалов: цветных металлов, пластмасс, резины и др.
Карбид кремния: черный с содержанием SiC, 95%	53С	Свободное зерно, пасты, круги	Грубая предварительная обработка, зачистные операции
97% 98%	54С 55С	Круги, бруски, шлифовальная шкурка, сегменты	Обработка твердых и хрупких материалов: твердых сплавов, высокопрочных чугунов, неметаллических материалов
зеленый с содержанием SiC, 97%...99,5%	63С	Круги, бруски, сегменты	Шлифование твердых сплавов и твердых неметаллических материалов; заточка и

			доводка твердосплавного инструмента; правка абразивных кругов
96%...97%	64С	Круги, бруски, шлифовальная шкурка, свободное зерно	Окончательная заточка и доводка твердосплавного инструмента; хонингование, суперфиниширование
Карбид бора В ₄ С- 93%	КБ	Свободное зерно, пасты	Доводка деталей из твердых сплавов и чугунов, обработка рубинов и сапфиров
Кубический нитрид бора BN (эльбор)	ЛО, ЛП, ЛВМ, ЛПМ	Круги, бруски, шлифовальная шкурка, пасты	Шлифование закаленных сталей, заточка и доводка быстрорежущего инструмента, доводка, суперфиниширование, полирование
Алмаз С: природный	А1...А8, АМ, АН	Лезвийный режущий инструмент, круги, бруски, пасты, инструмент для правки шлифовальных кругов, буровой инструмент	Характеристика и области использования см. табл. 3.
синтетический	АС2... ...АС16, АР и др.		

Алмазные шлифпорошки в зависимости от вида сырья, из которого они изготовлены, обозначают буквенными индексами [6]: А - из природных алмазов; АС - из синтетических алмазов; АР - из синтетических поликристаллических алмазов.

Микропорошки и субмикропорошки из природных алмазов обозначают буквенными индексами АМ, из синтетических алмазов - АСМ.

При обозначении микропорошков из природных и синтетических алмазов повышенной абразивной способности индекс М заменяют на индекс Н, т.е. АН, АСН.

Шлифпорошки из синтетических поликристаллических алмазов типа «баллас» (В), «карбонадо» (К) или «спеки» (С) обозначают соответственно АРВ, АРК, АРС в зависимости от типа поликристаллического алмаза.

Помимо буквенных обозначений добавляют цифровые индексы:

- в шлифпорошках из природных алмазов цифровой индекс соответствует десяткам процентов содержания зерен изометричной формы, например: А1, А2, А3, А5, А8;

- в шлифпорошках из синтетических алмазов цифровой индекс соответствует среднеарифметическому значению показателей нагрузки при сжатии единичных зерен всех зернистостей данной марки, выраженному в Ньютонах, например: АС2; АС4; АС6; АС15; АС20; АС32; АС50; АС65; АС80; АС100; АС125; АС160;

- в шлифпорошках из синтетических поликристаллических алмазов индекс соответствует сотой части среднеарифметического значения показателей нагрузки на сжатие единичных зерен всех зернистостей данной марки, выраженную в Ньютонах.

- в субмикропорошках цифровой индекс означает долю зерен крупной фракции в процентах, например: АМ5; АСМ5; АМ1; АСМ1.

Основные характеристики алмазных порошков приведены ниже. Некоторые марки алмазных порошков применяются в других областях техники и технологий, которые выходят за рамки машиностроения, поэтому здесь не рассматриваются.

Таблица 3

Алмазный шлифовальный материал и области его использования [6]

Марка	Характеристика	Рекомендуемая область применения
Шлифпорошки		
A1	Из природных алмазов, получаемые дроблением, содержащие изометрических зерен не менее 10%	Для инструментов на металлических связках при обработке технического стекла, керамики
A2	То же, не менее 20%	
A3	То же, не менее 30%	
A4	То же, не менее 40%	
A5	То же, не менее 50%	Для шлифовальных кругов на металлических связках в том числе изготавливаемых гальваническим методом, для обработки керамики; для правящего инструмента

A8	То же, не менее 80%	Для правящего инструмента
AC2	Из синтетических алмазов повышенной хрупкости, зерна которых представлены агрегатами с развитой поверхностью.	Для инструментов на органических связках, применяемых на чистовых и доводочных операциях при обработке твердого сплава.
AC4	То же, представлены агрегатами и сrostками	
AC6	Из синтетических алмазов, зерна которых представлены кристаллами, агрегатами и сrostками.	Для инструментов на различных связках, применяемых при обработке твердого сплава, керамики, стекла и других неметаллических материалов
AC15	То же, представлены агрегатами и сrostками (не более 60%), а также удлинёнными кристаллами с коэффициентом формы зерен 1,3...3,0.	
AC20	То же, представлены агрегатами и сrostками не более 40%.	
AC32	Из синтетических алмазов, зерна которых представлены кристаллами, а также агрегатами и сrostками (не более 15%) с коэффициентом формы зерен не более 1,2.	Для инструментов на металлических связках, применяемых для обработки стекла, рубина, лейкосапфира, ситалла, корунда, черного хонингования
AC50	То же, представлены агрегатами и сrostками не более 12%	
AC65	Из синтетических алмазов, зерна которых представлены кристаллами, а также агрегатами и сrostками (не более 10%) с коэффициентом формы зерен не более 1,2.	Для инструментов на металлических связках, применяемых при обработке керамики, стекла, в алмазных сверлах
AC80	То же, зерна которых представлены кристаллами, а также агрегатами и сrostками (не более 8%) с	

	коэффициентом формы зерен не более 1,1	
АС100	Из синтетических алмазов, зерна которых представлены кристаллами, а также агрегатами и сrostками (не более 6%) с коэффициентом формы зерен не более 1,1.	Для инструментов на металлических связках, применяемых для резки, сверления стекла, керамики, правки шлифовальных кругов
АС125	То же, представлены агрегатами и сrostками не более 4%.	
АС160	То же, представлены агрегатами и сrostками не более 2%.	
АРВ1	Из синтетических поликристаллических алмазов типа «баллас»	Для инструментов на металлических связках, применяемых для черного хонингования чугунов, резки и шлифования стеклопластиков и других неметаллических материалов
АРК4	Из синтетических поликристаллических алмазов типа «карбонадо»	В машиностроении практически не используются
АРС3	Из синтетических поликристаллических алмазов типа «спеки»	Для инструментов для правки шлифовальных кругов
АРС4	То же, с коэффициентом формы зерен не более 1,5	
Микропорошки		
АМ	Из природных алмазов нормальной абразивной способности	Для доводки и полирования деталей машин и приборов из закаленных сталей, сплавов, керамики, стекла, полупроводниковых и других материалов
АСМ	Из синтетических алмазов нормальной абразивной способности	
АН	Из природных алмазов повышенной абразивной способности	Для доводки и полирования твердых и сверхтвердых труднообрабатываемых материалов, корунда, керамики, алмазов, дра-
АСН	Из синтетических алмазов	

	повышенной абразивной способности	гоценных камней
Субмикророшки		
AM5	Из природных алмазов с содержанием крупной фракции до 5%	Для сверхтонкой доводки и полирования поверхностей изделий, при обработке полупроводниковых материалов
AM1	То же, с содержанием крупной фракции до 1%	
ACM5	Из синтетических алмазов с содержанием крупной фракции до 5%	
ACM1	То же, с содержанием крупной фракции до 1%	

AM - для доводки и полирования деталей машин и приборов из закаленных сталей, сплавов, керамики, стекла, полупроводниковых и других материалов;

АН - для доводки и полирования твердых и сверхтвердых труднообрабатываемых материалов, корунда, керамики, алмазов, драгоценных камней;

AM5, AM1 - для сверхтонкой доводки и полирования поверхностей изделий при обработке полупроводниковых материалов.

Аналоги некоторых распространенных обозначений марок шлифовальных материалов иностранных фирм приведены в табл. 4.

Таблица 4

Марки иностранных шлифовальных материалов [4]

Стандарт	Марка	Материал
ANSI B 74.13-1977; ISO 525; EN 12413 FEPA	A	Электрокорунд
	C	Карбид кремния
	D	Алмаз
	Z	Корунд циркониевый
	B	Кубический нитрид бора
DIN 69100	AS	Электрокорунд улучшенный
	CS	Карбид кремния улучшенный
Фирмы: August Rugeberg	AD	Электрокорунд красный
	AW	Электрокорунд белый
	AR	Электрокорунд розовый

	AN	Электрокорунд нормальный
	АН	Сфорокорунд
	ADW	Смешанный электрокорунд (AD+ AW)
	ARN	Смешанный электрокорунд (AR+ AN)
	CN	Карбид кремния зеленый
	CU	Карбид кремния серый
Варианты других фирм: TYROLIT; CARBORUNDUM и др.	NC	Электрокорунд нормальный
	HK	Электрокорунд полубелый
	EKW	Электрокорунд белый
	SC	Карбид кремния черный
	SCg	Карбид кремния зеленый

Зернистость и зерновой состав шлифовальных материалов

Шлифовальные материалы делят на группы в зависимости от размера зерен.

Группы материалов (размеры в мкм):

Шлифзерно..... от 2000 до 160

Шлифпорошки..... от 125 до 40

Микрошлифпорошки..... от 63 до 14

Тонкие микрошлифпорошки..... от 10 до 3

Шлифзерно и шлифпорошки получают ситовым рассевом, микрошлифпорошки - осаждением в жидкости (гидроклассификация). Совокупность абразивных зерен шлифовального материала в установленном интервале размеров называют фракцией. Фракцию, преобладающую по массе, объему или числу зерен, называют основной (39...60% зерен). Характеристику конкретной совокупности абразивных зерен, выраженную размерами зерен основной фракции, называют **зернистостью**.

Зернистость шлифзерна и шлифпорошков обозначают как 0,1 размера стороны ячейки сита в свету в микрометрах, на котором задерживаются зерна основной фракции, например, зернистость 40 означает размер ячейки сита 400 мкм. Зернистость микрошлифпорошков обозначают по верхнему пределу размера зерен основной фракции в мкм, например, M20.

Однородность зернового состава характеризуется процентным содержанием основной фракции (табл. 5), поэтому условное обозначение зернистости дополняют буквенным индексом, соответствующим этому процентному содержанию: В – высокое, П – повышенное, Н - номинальное, Д - допустимое.

Таблица 5

Минимальное содержание основной фракции шлифовальных материалов, %

Индекс	Зернистость				
	200...8	6...4	M63...M28	M20...M14	M10...M5
В	-	-	60	60	55
П	55	55	50	50	45
Н	45	40	45	40	40
Д	41	-	43	39	39

ГОСТ [7] устанавливает понятие «шлифовальный порошок» как абразивный материал, размеры зерен которого находятся в пределах 4750 – 45 мкм.

Шлифпорошки могут быть двух сортов: F – первый сорт и P – высший сорт. Сорт P отличается от сорта F «лучистостью», наличием большего числа режущих вершин.

Для изготовления абразивного инструмента, исключая инструмент на гибкой основе, а также для использования шлифовальных порошков при обработке свободным абразивным зерном, изготавливают шлифовальные порошки зернистостей: F4, F5, F6, F7, F8, F10, F12, F14, F16, F20, F22, F24, F30, F36, F40, F46, F54, F60, F70, F80, F90, F100, F120, F150, F180, F220. Пример условного обозначения шлифовального порошка из карбида кремния зернистостью F100: **Карбид кремния F100 ГОСТ Р 52381-2005.**

Для изготовления абразивного инструмента на гибкой основе изготавливают шлифовальные порошки зернистостей: P12, P16, P20, P24, P30, P36, P40, P50, P60, P80, P100, P120, P150, P180, P220. Пример условного обозначения шлифовального порошка из карбида кремния зернистостью P80: **Карбид кремния P80 ГОСТ Р 52381-2005.**

Таблица 6

Ориентировочное соответствие зернистостей шлифовальных порошков

Обозначение зернистостей			
ГОСТ Р 52381-2005	ГОСТ 3647-80	ГОСТ Р 52381-2005	ГОСТ 3647-80
F4	-	F36, P36	50
F5	-	F40, P40	-
F6	-	F46	40
F7	-	F54, P50	32
F8	-	F60, P60	25
F10	200	F70	20
F12, P12	160	F80, P80	-
F14	-	F90, P100	16
F16, P16	125	F100, P120	12
F20, P20	100	F120, P150	10
F22	-	F150, P180	8
F24, P24	80	F180, P220	6
F30, P30	63	F220	5

Стандарт [8] действует только в части микрошлифпорошков и устанавливает группы шлифовальных материалов, указанных в табл.7.

Таблица 7

Обозначения группы микрошлифпорошков

Группа	Размер зерен основной фракции, мкм	Обозначение зернистости
Микрошлифпорошки	63...14	M63...M14
Тонкие микрошлифпорошки	10...3	M10...M3

Для микрошлифпорошков обозначения зернистости - по верхнему пределу размера зерен основной фракции с добавлением индекса М. Например, M40, M28, M10 (соответственно 40, 28, 10 мкм).

Для алмазных и эльборовых порошков, микропорошков и тонких микропорошков обозначения зернистости - дробью, числитель которой соответствует наибольшему, а знаменатель - наименьшему размеру зерен основной фракции в мкм. Например: 28/20; 10/7.

Зернистость и зерновой состав шлифпорошков из алмаза и кубического нитрида бора (эльбора) регламентируется стандартом [9], где применены следующие термины и определения:

- шлифпорошок: абразивный материал, размеры зерен которого находятся в пределах 1830-38 мкм.

- зернистость, мкм, (меш): размер зерен, определяемый размером стороны ячейки двух смежных контрольных сит («верхнее» и «нижнее»), через одно из которых зерна должны проходить, а на другом задерживаться, или определяемый числом отверстий на 1 дюйм (меш).

Ориентировочное соответствие обозначений зернистостей шлифпорошков по настоящему ГОСТ Р 53922-2010 [9] и зернистостей (меш) по ГОСТ Р 51568-99 [10] приведено в табл. 8 (для узкого диапазона зернистости).

Таблица 8

Соответствие зернистостей шлифпорошков по различным стандартам

<i>Обозначение зернистости по ГОСТ Р 53922</i>	<i>Зернистость, (меш)</i>	<i>Размер ячейки сита по ГОСТ Р 51568, мкм</i>	<i>Обозначение зернистости по ГОСТ Р 53922</i>	<i>Зернистость, (меш)</i>	<i>Размер ячейки сита по ГОСТ Р 51568, мкм</i>
1181	16/18	1180/1000	213	70/80	212/180
1001	18/20	1000/850	181	80/100	180/150
851	20/25	850/710	151	100/120	150/125
711	25/30	710/600	126	120/140	125/106
601	30/35	600/500	107	140/170	106/90
502	35/45	500/425	91	170/200	90/75
501	35/40	500/425	76	200/230	75/63
426	40/45	425/355	64	230/270	63/53
356	45/50	355/300	54	270/325	53/45
301	50/60	300/250	46	325/400	45/38
251	60/70	250/212			

Шлифпорошки широкого диапазона изготавливают зернистостями: 1180/850 (16/20), 850/600 (20/30), 600/425 (30/40), 425/300 (40/50), 250/180 (60/80). В скобках указаны зернистости в мешах.

Обозначение алмазных шлифпорошков состоит из буквы D и обозначения зернистости. Пример условного обозначения алмазного шлифпорошка с обозначением зернистости 151:

Шлифпорошок D151 ГОСТ Р 53922-2010.

Обозначение шлифпорошков из кубического нитрида бора состоит из буквы В и обозначения зернистости. Пример условного обозначения шлифпорошка из кубического нитрида бора с обозначением зернистости 251:

Шлифпорошок В251 ГОСТ Р 53922-2010.

Допускается обозначения зернистости шлифпорошка указывать в мешах.

Связка абразивных инструментов

Вещество или совокупность веществ, применяемых для закрепления зерен шлифовального материала называют **связкой**. В некоторых случаях применяется наполнитель в связке, предназначенный для придания инструменту необходимых физико-механических, технологических или эксплуатационных свойств.

Новый стандарт [15] определяет связку абразивных инструментов как керамическую (V), вулканитовую (R), вулканитовую с упрочняющими элементами (RF), бакелитовую (B), бакелитовую с упрочняющими элементами (BF), бакелитовую с графитовым наполнителем (B4), шеллаковую (E), магнезиальную (MG), полимерную (PL), глифталевую (BE) связки. Существует множество различных составов связки, и во многих случаях производители могут использовать свои фирменные обозначения. Как правило, при этом к обозначению добавляются дополнительные буквы или цифры, например: VBE, V750.

Устаревшие и практически применяемые обозначения наиболее применяемых связок абразивных инструментов и их области применения приведены ниже [5].

Керамические связки (К) К1...К6, К8., К10 - для всех основных видов шлифования, кроме прорезки узких пазов. Керамические связки являются многокомпонентными смесями огнеупорной глины, полевого шпата, борного стекла, талька и других минеральных материалов, составленными по определенной рецептуре с добавками клеящих веществ: растворимого стекла, декстрина и др. Спекующиеся керамические связки К2, К3 используют для закрепления зерен из карбида кремния. В процессе термической обработки они частично расплавляются и по своему состоянию и составу близки к фарфору.

Плавающиеся керамические связки К1, К5, К8 используют для закрепления зерен из электрокорундовых материалов, с которыми они вступают в химическое взаимодействие и обеспечивают прочное закрепление зерен. По своему составу и состоянию такие связки являются стеклами. Керамическая связка К1 - для шлифования и заточки инструментов при обработке твердого сплава совместно со стальной державкой или корпусом.

Органические связи

Применяемое обозначение связи	Старое обозначение связи	Назначение
В2-01	Б1	Чистовое шлифование и доводка твердосплавного инструмента с охлаждением и без него. Шлифование твердосплавных деталей.
В1-02	Б156	Обработка твердого сплава, твердого сплава совместно со сталью и некоторых неметаллических материалов при силовом шлифовании.
В1-01	БП2	Чистовое шлифование и доводка твердосплавного инструмента, совместно с касанием стальной державки на повышенных режимах с охлаждением и без него.
В1-09	БСТ	Заточка инструмента из безвольфрамовых твердых сплавов, а также других сверхтвердых материалов.
В1-11П	В1-11П	Заточка и доводка деревообрабатывающего твердосплавного инструмента на повышенных режимах с охлаждением и без него.
В1-13	В1-13	Шлифование, заточка и доводка твердосплавного инструмента.
В2-02	01	Обработка твердого сплава, твердый сплав совместно со сталью.

Бакелитовые связи (Б). Для бакелитовой связи используют порошкообразный или жидкий бакелит в качестве связующего компонента с соответствующими наполнителями и увлажнителями.

Вулканитовые и прочие связи (В). Основным компонентом вулканитовой связи является синтетический каучук. Введение в связку различных наполнителей, ускорителей вулканизации, позволяет изменять технологические и эксплуатационные свойства абразивных инструментов.

Металлические связки

Применяемое обозначение связки	Старое обозначение связки	Назначение
M2-01	M1	Для плоского, круглого, внутреннего, продольного шлифования изделий из твердых неметаллических материалов - стекла, керамики, мрамора, гранита, полупроводниковых материалов.
M1-01	MB1	Шлифование титановых сплавов, шлифование, заточка и доводка твердосплавного инструмента.
M3-04	MH-1	Обработка технического стекла.
M2-30	M2-30	Обработка оптического и технического стекла.
M5-08	M13	Хонингование отверстий стальных деталей в закаленном и незакаленном состоянии, серых и легированных чугунов.
M2-09	M016	Шлифование титановых сплавов, быстрорежущих сталей, высокопрочных закаленных чугунов.
M3-05	M3-05	Обработка оптического стекла.
M5-01	M73	Хонингование закаленных легированных сталей.
M5-04	MC-1	Хонингование сталей и чугунов.
M5-05	MC-3M	Хонингование легированных сталей.
M5-06	MK-3	Хонингование серых и легированных чугунов.

Металлические связки (М). Изготовление алмазного и эльборового инструмента повышенной износостойкости для обработки твердых сплавов (алмазные круги), для электрохимической абразивной обработки. Металлические связки (эльборовые круги) - для профильного и чистового шлифования и заточки инструмента из быстрорежущих сталей.

Твердость абразивного инструмента

Этот термин характеризует свойство абразивного инструмента сопротивляться нарушению сцепления между зернами и связкой при сохранении характеристик инструментов в пределах установленных норм. Твердость оценивают определенными показателями в зависимости от метода измерения (пескоструйный, вдавливанием шарика, конуса или цилиндра). Твердость абразивных инструментов для кругов на керамической, бакелитовой и вулканитовой связках определяют по стандарту [11] вместо утративших силу ГОСТ 18118 - 79, ГОСТ 19202 - 80 и ГОСТ 21323 - 75.

В настоящее время установлена следующая шкала степеней твердости абразивного инструмента (в скобках указаны старые обозначения):

F, G (BM1, BM2) - весьма мягкий;

H, I, J (M1, M2, M3) - мягкий;

К, L (СМ1, СМ2) - среднемягкий;
М, N (С1, С2) - средний;
О, Р, Q (СТ1, СТ2, СТ3) - среднетвердый;
R, S (Т1, Т2) - твердый;
Т, U (ВТ) - весьма твердый;
V, W, X, Y, Z (ЧТ) - чрезвычайно твердый.

Цифры 1, 2 и 3 характеризуют возрастание твердости абразивного инструмента внутри степени в старом обозначении твердости абразивных инструментов.

Для определения твердости шлифовальных кругов допускается применять акустический метод контроля [12].

Области применения абразивных инструментов различной твердости

Мягкие и среднемягкие круги - для плоского шлифования торцом круга (на бакелитовой связке), периферией круга (на керамической связке), для шлифования заготовок и заточки инструментов из твердых сплавов, минералокерамики и закаленных углеродистых и легированных сталей, для шлифования цветных металлов и сплавов.

Среднемягкие и средние круги - для чистового (круглого, бесцентрового, внутреннего, плоского периферией круга) шлифования заготовок из закаленных сталей; для шлифования резьб с крупным шагом.

Средние и среднетвердые круги - для шлифования (круглого, бесцентрового, профильного, резьбошлифования) заготовок из незакаленных углеродистых и легированных сталей и сплавов, чугуна и других металлов и материалов; для плоского шлифования сегментами, хонингования брусками.

Среднетвердые и твердые круги - для обдирочного и предварительного шлифования профильных и прерывистых поверхностей, заготовок малого диаметра: для снятия заусенцев, бесцентрового шлифования, хонингования закаленных сталей.

Весьма твердые и чрезвычайно твердые круги ВТ...ЧТ - для правки шлифовальных кругов методом обкатки и шлифования, шлифования деталей приборов с малым съемом материала (часовые механизмы), шлифования шариков для подшипников.

Структура абразивного инструмента и относительная концентрация шлифовального материала

Соотношение объемов шлифовального материала, связки и пор в абразивном инструменте определяет структуру инструмента. Принято обозначать структуру номерами (1-16). Различают

плотные (1-4), средние (5-8), открытые (9-12) и открытые высокопористые (13-16) структуры.

Для обдирочного шлифования при съеме значительного припуска (при предварительной обработке материалов с небольшим сопротивлением разрыву) рекомендуется использовать инструменты высоких номеров структур.

Для чистовой обработки, для обработки твердых и хрупких материалов, при повышенных удельных нагрузках в зоне шлифования применяют круги с меньшими номерами структур. Рекомендации по выбору номера структуры абразивного инструмента приведены в табл. 11.

Таблица 11

Области применения абразивных инструментов с разными номерами структур

Номер структуры	Объемное содержание шлифовального материала, %	Область применения
1-3	60-58	Шлифование деталей с малым съемом материала кругами на бакелитовой и керамической связках
3, 4	56-54	Отрезка. Шлифование с большими подачами и переменной нагрузкой. Профильное шлифование. Шлифование твердых и хрупких материалов
5, 6	52-50	Круглое наружное, бесцентровое, плоское периферией круга, шлифование металлов с высоким сопротивлением разрыву
7, 8	48-46	Шлифование вязких металлов с низким сопротивлением разрыву. Внутреннее шлифование, заточка инструментов, плоское шлифование торцом круга.
9-12	44-38	Скоростное шлифование. Профильное шлифование мелкозернистыми кругами. Шлифование резьбы. Шлифование с уменьшенным тепловыделением в зоне резания
14-16	36-30	Шлифование неметаллических материалов, металлов с низкой теплопроводностью (устранение прижогов и трещин)

Абразивные инструменты зернистостью 125...80 обычно изготавливают со структурами 3 и 4; зернистостью 50, 40 - со структурами 5 и 6; зернистостью 25...12 изготавливают со структурами 6 и 7.

Круги высоких номеров структур изготавливают высокопористыми: поры и капилляры в них сообщаются между собой за счет использования выгорающих порообразователей или газообразующих веществ.

В характеристике высокопористых кругов дополнительно указываются данные о марке порообразователя, его зернистости и объемном содержании в %. Например, в маркировке круга 24А 16 М2 8 К5 / ПСС 40 15 дополнительно указано, что порообразователем является полистирол общего назначения марки ПСС зернистостью 40, объемное содержание которого в абразивной массе при прессовании составляет 15 %; круг электрокорундовый марки 24А зернистостью 16, твердостью М2, номер структуры 8, связка керамическая К5.

Для инструментов из сверхтвердых материалов (алмаза и эльбора) объемное содержание шлифовального материала назначают в пределах 38...2,5 %, что соответствует очень открытым структурам, если не учитывать наполнители. Условно принято фактическое объемное содержание шлифовального материала при маркировке увеличивать в 4 раза и обозначать в виде условной концентрации алмазов в % - 250, 200, 150, 125, 100, 75, 50. Таким образом, под относительной концентрацией 100% понимается, что в объеме алмазоносного слоя объемное содержание алмазов составляет 25%. Знак % в маркировке не проставляется.

Классы точности абразивных инструментов

В зависимости от величин, характеризующих абразивный инструмент в нормативно-технической документации [13] по предельным отклонениям размеров и формы, устанавливают следующие классы точности абразивного инструмента АА; А; Б.

Для кругов класса точности Б используют шлифовальные материалы со всеми индексами, характеризующими содержание основной фракции: В, П, Н и Д; для кругов класса точности А - только с индексами В, П, Н; для кругов класса высокой точности АА - только с индексами В, П, т. е. с высоким и повышенным содержанием основной фракции (до 55 % при зернистости 200 - 4). В маркировке кругов классы точности не проставляются.

Классы неуравновешенности шлифовальных кругов

Состояние шлифовального круга, характеризующееся таким распределением масс, которое во время вращения вызывает переменные нагрузки на опорах шпинделя станка, называют неуравновешенностью круга. Неуравновешенной точечной массой круга называют условную массу, радиус-вектор (эксцентриситет) которой относительно оси посадочного отверстия равен радиусу наружной поверхности (периферии). В зависимости от допустимых неуравновешенных масс для шлифовальных кругов на керамической, бакелитовой, вулканитовой и органических связках, установлено четыре класса неуравновешенности,

обозначаемых цифрами 1, 2, 3 и 4. Допустимые неуравновешенные массы должны соответствовать значениям, приведенным в [14].

Допустимые неуравновешенные массы контролируют на станках для статической балансировки, основной частью которых являются два параллельно расположенных цилиндрических валика одинакового диаметра. Шероховатость поверхности валиков и балансировочной оправки не выше Ra 2,5 мкм.

При контроле неуравновешенности на периферии круга устанавливают грузы с массой (с учетом массы зажимов), равной допустимой неуравновешенной массе. Если после установки круга с балансировочной оправкой на балансировочный станок контрольный груз будет подниматься и занимать верхнее положение, то такой круг не отвечает требованиям данного класса неуравновешенности. Уравновешенный круг остается неподвижным на валиках в любом положении. При маркировке в условном обозначении кругов указывают класс неуравновешенности: 1, 2, 3, 4 после величины рабочей скорости круга.

Например: **35 м/с 1 кл. А** – маркировка для круга с рабочей скоростью 35 м/с, 1-го класса неуравновешенности, класса точности А.

Абразивные инструменты на гибкой основе

Абразивные инструменты на гибкой основе с нанесенным на него слоем (слоями) шлифовального материала, закрепленного связкой, называют **шлифовальной шкуркой**. Шлифовальную шкурку производят в виде рулонов, листов, лент, дисков, трубочек, колец, конусов. Размеры рулонов, листов и лент зависят от материала гибкой основы. Различают бумажную, тканевую, комбинированную, фибровую и другие основы.

В зависимости от свойств связки и основы различают водостойкую, неводостойкую, термостойкую и другие шкурки. Шкурка бывает однослойной и двухслойной в зависимости от числа слоев шлифовального материала на одной из сторон гибкой основы. Если рабочие слои шлифовального материала расположены на обеих сторонах гибкой основы, то такую шкурку называют двусторонней.

Шлифовальные шкурки рулонные на тканевой основе [16] выпускают шириной от 725 до 1400 мм, длиной 20, 30 и 50 м; по [17] - шириной от 600 до 840 мм, длиной 20 и 30 м.

Пример условного обозначения тканевой шлифовальной шкурки типа 2, с рельефным рабочим слоем шириной 830 мм, длиной 50 м, на сарже средней № 2 суровой, из белого электрокорунда марки 24А, зернистости 40-Н, на мездровом клее: **2Р 830x50 С2 24А 40-Н М ГОСТ 5009-82**

Пример условного обозначения водостойкой тканевой двухслойной шлифовальной шкурки типа 2 шириной 820 мм, длиной 20 м на тканевой основе из гладкокрашеной утяжеленной саржи, из зеленого карбида кремния марки 63С, зернистостей 40-Н и 25-П, на фенолоформальдегидной смоле: **Д2 820x20 УГ 63С 40-Н/25-П СФЖ ГОСТ 13344-79**

Шлифовальные шкурки рулонные на бумажной основе выпускают [18] шириной от 720 до 1400 мм, длиной 20, 30, 50 и 100 м; по [19] (водостойкая) шириной от 500 до 1000 мм, длиной 30, 50 и 100 м. По заказу потребителя допускается изготовление рулонов других размеров.

Пример условного обозначения бумажной шлифовальной шкурки типа 1, со сплошным рабочим слоем С, шириной 1000 мм, длиной 50 м, на бумаге марки 0-200, из нормального электрокорунда марки 15А, зернистости 25-Н, на мездровом клее: **1С 1000x50 П2 15А 25-Н М ГОСТ 6456-82**

Пример условного обозначения водостойкой шлифовальной шкурки в рулоне, шириной 750 мм, длиной 50 м, на влагопрочной бумаге, из зеленого карбида кремния, марки 64С, зернистости 16-П: **750X50 М 64С 16-П ГОСТ 10054-82**

Шлифовальную шкурку в виде полосы прямоугольной формы, длина которой в направлении основы не более 1000 мм, называют **шлифовальным листом**. Шлифовальные листы по стандарту [20] выпускают шириной от 70 до 800 мм и длиной от 125 до 1000 мм.

Пример условного обозначения шлифовального листа (Л) шириной 125 мм, длиной 300 мм, из нормального электрокорунда марки 15А, зернистостью 16-Н, из шлифовальной шкурки по ГОСТ 6456-82, на бумаге марки 0-200, класса Б: **Л 125 300 15 А 16-Н 1 П2 Б ГОСТ 22773-77**

Шлифовальной лентой называют шлифовальную шкурку в виде полосы прямоугольной формы. Шлифовальную ленту с замкнутым контуром называют бесконечной шлифовальной лентой. Ее основные размеры: по ширине от 2,5 до 2650 мм, по длине от 220 до 12500 мм.

Несклеенные шлифовальные ленты называют лентами-бобинами типов Б, БМ. Основные размеры лент-бобин по ширине от 2,5 до 1500 мм, по длине от 25 м до 100 м.

Шлифовальную шкурку формой круга называют **шлифовальным диском**. Диски могут иметь радиальные прорезы заданной глубины. Материал основы дисков может быть тканью, бумагой, фиброй и т. д. Диски типов Д, ДО изготавливают [20] с основными размерами: наружный диаметр от 80 до 340 мм, диаметр отверстия 8, 12, 22, 30, 40 мм. Диски с прорезями типа ДП выпускают с наружным диаметром 100, 125, 140, 150, 160, 170 мм.

Пример условного обозначения шлифовального диска с отверстием типа ДО, наружным диаметром 100 мм, внутренним диаметром 12 мм, из зеленого карбида кремния марки 63С,

зернистостью 6-П, из шлифовальной шкурки по ГОСТ 6456-82, на бумаге марки О-200, класса А: **ДО 100 12 63С 6-П 1 П2 А ГОСТ 22773-77**

Шлифовальную шкурку с формой цилиндра называют **шлифовальной трубкой**. По [21] ее выпускают высотой 180 мм с диаметром отверстия от 10 до 65 мм. Шлифовальную трубку, диаметр которой равен или превышает ее высоту, называют шлифовальным кольцом.

Шлифовальную шкурку с формой конуса называют **шлифовальным конусом** или **усеченным шлифовальным конусом**. По стандарту [21] выпускают: шлифовальные конусы типа К с наружным диаметром 25, 30, 40, 50 мм, высотой 50, 60, 80, 100 мм; усеченные шлифовальные конусы типа КУ с наружным диаметром 40, 45 мм высотой 100, 140, 145 мм с внутренним диаметром 32, 35 мм.

Пример условного обозначения усеченного шлифовального конуса типа КУ диаметрами 45 и 32 мм, длиной 145 мм, из нормального электрокорунда марки 15А, зернистостью 40-П, из шлифовальной шкурки класса А по ГОСТ 13344-79, на сарже утяжеленной № 2 гладкокрашеной, класса А: **КУ 45x145x32 15А 40-П А4 У2Г А ГОСТ 22774-77**.

Шлифовальные круги, состоящие из радиально расположенных и закрепленных одной стороной шлифовальных листов заданной формы, называют **лепестковыми шлифовальными кругами**. Лепестковые круги типа КЛ выпускают [22] с наружным диаметром от 120 до 500 мм, высотой от 25 до 140 мм, с диаметром отверстия 32 и 40 мм. Лепестковые круги типа КЛЮ (с оправкой) выпускают [22] с наружным диаметром от 40 до 140 мм, высотой 10, 20, 30, 40 мм, с диаметром оправки 6 и 8 мм.

Пример условного обозначения лепесткового шлифовального круга типа КЛЮ, с наружным диаметром 80 мм, высотой 20 мм, диаметром оправки 6 мм, из нормального электрокорунда марки 15А, зернистостью 5-П, из шлифовальной шкурки по ГОСТ 5009-82, на сарже средней N 1 гладкокрашеной, класса А: **КЛЮ 80 20 6 15А 5-П 2 С1Г А ГОСТ 22775-77**.

Диски на фибровой основе выпускают [23] с наружным диаметром от 60 до 225 мм, с диаметром отверстия 6 и 22 мм. Диски на основе из нетканых материалов (объемного полотна) выпускают с наружным диаметром 125 мм, диаметром отверстия 32 мм.

Пример условного обозначения фибрового шлифовального диска типа 2, диаметром диска 225 мм, диаметром отверстия 22 мм, из нормального электрокорунда марки 14А, зернистости 16-П, на фенолоформальдегидной смоле (С): **2 225x22 14А 16-П С ГОСТ 8692-88**.

Заключение

В последнее десятилетие основной тенденцией в российском производстве и потреблении абразивных материалов и инструментов стала унификация их обозначений. Это вносит определенные трудности даже для специалистов, поскольку объективно в производстве, потреблении и на рынке находится много абразивных инструментов с разнообразными маркировками, иногда даже отдельных фирм – производителей. В этот переходный период важно дать информацию, какие характеристики не изменились, а для измененных – дать соответствие старым и новым обозначениям.

В статье на основе последних ГОСТов рассмотрены все основные характеристики шлифовальных материалов и частично – абразивных инструментов, таких, как тип абразива, зернистость, твердость, структура, связка, классы точности и неуравновешенности кругов. Для алмазных и эльборовых порошков определены особенности обозначения их характеристик. Приведены сравнительные оценки по старым и новым обозначениям. Приведены сведения и примеры обозначений абразивных инструментов на гибкой основе.

Список литературы

1. ГОСТ 21445-84. Материалы и инструменты абразивные. Термины и определения. Введ. 1985-07-01. М.: Изд-во стандартов, 1993. 26 с.
2. ГОСТ 23505-79. Обработка абразивная. Термины и определения. Введ. 1980-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1991. 13 с.
3. ГОСТ 14706-78. Алмазы и инструменты алмазные. Термины и определения. Введ. 1979-07-01. М.: Изд-во стандартов, 1984. 10 с.
4. Краткий справочник металлиста / Под общ. ред. А.Е. Древаля, Е.А. Скороходова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2005. 906 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 2 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Сулова, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение-1, 2001. 944 с.
6. [ГОСТ 9206-80. Порошки алмазные. Технические условия.](#) Введ. 1981-07-01. М.: Изд-во стандартов, 1989. 14 с.
7. ГОСТ Р 52381-2005. Материалы абразивные. Зернистость и зерновой состав шлифовальных порошков. Контроль зернового состава. Введ. 2006-06-30. М.: Стандартинформ, 2006. 10 с.

8. ГОСТ 3647-80. Материалы шлифовальные. Классификация. Зернистость и зерновой состав. Методы контроля. Введ. 1982-01-01. М.: Изд-во стандартов, 2004. 19 с.
9. ГОСТ Р 53922-2010. Порошки алмазные и из кубического нитрида бора (эльбора). Зернистость и зерновой состав шлифпорошков. Контроль зернового состава. Введ. 2012-01-01. М.: Стандартиформ, 2011. 12 с.
10. ГОСТ Р 51568-99. Сита лабораторные из металлической проволочной сетки. Технические условия. Введ. 2000-03-01. М.: Изд-во стандартов, 2003. 10 с.
11. ГОСТ Р 52587-2006. Инструмент абразивный. Обозначения и методы измерения твердости. Введ. 2008-01-01. М.: Стандартиформ, 2007. 12 с.
12. ГОСТ Р 52710-2007. Инструмент абразивный. Акустический метод определения твердости и звуковых индексов по скорости распространения акустических волн. Введ. 2008-01-01. М.: Стандартиформ, 2007. 20 с.
13. ГОСТ Р 52781-2007. Круги шлифовальные и заточные. Технические условия. Введ. 2009-01-01. М.: Стандартиформ, 2008. 32 с.
14. ГОСТ 3060-86. Круги шлифовальные. Допустимые неуравновешенные массы и метод их измерения. Введ. 1988-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1986. 18 с.
15. ГОСТ Р 52588-2006. Инструмент абразивный. Требования безопасности. Введ. 2008-01-01. М.: Стандартиформ, 2007. 23 с.
16. ГОСТ 5009-82. Шкурка шлифовальная тканевая. Технические условия. Введ. 1983-01-01. М.: Изд-во стандартов, 2001. 11 с.
17. ГОСТ 13344-79. Шкурка шлифовальная тканевая водостойкая. Технические условия. Введ. 1981-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1979. 8 с.
18. ГОСТ 6456-82. Шкурка шлифовальная бумажная. Технические условия. Введ. 1983-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1990. 12 с.
19. ГОСТ 10054-82. Шкурка шлифовальная бумажная водостойкая. Технические условия. Введ. 1983-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1990. 9 с.
20. ГОСТ 22773-77. Листы и диски шлифовальные. Типы и размеры. Введ. 1979-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1985. 5 с.
21. ГОСТ 22774-77. Конусы и трубки шлифовальные. Типы и размеры. Введ. 1979-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1985. 4 с.

22. ГОСТ 22775-77. Круги шлифовальные лепестковые. Типы и основные размеры. Введ. 1979-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1985. 5 с.
23. ГОСТ 8692-88. Диски шлифовальные фибровые. Технические условия. Введ. 1990-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1995. 11 с.

Materials for an abrasive tool. Review

07, July 2013

DOI: [10.7463/0713.0577449](https://doi.org/10.7463/0713.0577449)

Ovchinnikov A.I.

Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russian Federation

alex-ai@yandex.ru

This author analyzes recent significant changes in the normative-technical documents in reference to grinding materials, determination of their properties, quality control and designation. The article also presents information on new classification of grain composition, bonding materials, hardness and structure of abrasive tools. Application domains were specified for different grades and parameters of grinding materials, along with their correspondence to foreign analogues. Particular attention was paid to super-hard abrasive materials based on diamond and cubic boron nitride (CBN), identifiers of their parameters as well as rational application domains in manufacturing engineering. The author also considers flexible abrasive tools. There are examples of designation of materials for abrasive tools and their individual parameters.

Publications with keywords: [abrasive paper](#), [abrasive grain sizes](#), [structure](#), [Elbor](#), [diamond grain](#), [CBN concentration](#), [hardness](#), [binder](#), [abrasive tool](#), [abrasives](#)

Publications with words: [abrasive paper](#), [abrasive grain sizes](#), [structure](#), [Elbor](#), [diamond grain](#), [CBN concentration](#), [hardness](#), [binder](#), [abrasive tool](#), [abrasives](#)

References

1. *GOST 21445-84. Materialy i instrumenty abrazivnye. Terminy i opredeleniya* [State Standard 21445-84. Abrasive materials and tools. Terms and definitions]. Moscow, Standards Publishing House, 1993. 26 p.
2. *GOST 23505-79. Obrabotka abrazivnaya. Terminy i opredeleniya* [State Standard 23505-79. Abrasive machining. Terms and definitions]. Moscow, Standards Publishing House, 1991. 13 p.
3. *GOST 14706-78. Almazy i instrumenty almaznye. Terminy i opredeleniya opredeleniya* [State Standard 14706-78. Diamonds and diamond tools. Terms and definitions]. Moscow, Standards Publishing House, 1984. 10 p.
4. Dreval' A.E., Skorokhodov E.A., eds. *Kratkiy spravochnik metallista* [Quick reference guide of metalworker]. Moscow, Mashinostroenie, 2005. 906 p.

5. Dal'skiy A.M., Suslov A.G., Kosilova A.G., Meshcheryakov R.K., eds. *Spravochnik tekhnologamashinostroytelya. V 2 t. T. 2* [Handbook of technologist-mechanician. In 2 vols. Vol. 2]. Moscow, Mashinostroenie-1, 2001. 944 p.
6. *GOST 9206-80. Poroshki almaznye. Tekhnicheskie usloviya opredeleniya* [State Standard 9206-80. Diamond powders. Specifications]. Moscow, Standards Publishing House, 1989. 14 p.
7. *GOST R 52381-2005. Materialy abrazivnye. Zernistost' i zernovoy sostav shlifoval'nykh poroshkov. Kontrol' zernovogo sostava opredeleniya* [State Standard of RF 52381-2005. Abrasive materials. Grain and grain size distribution of grinding powders. Test of grain size distribution]. Moscow, Standartinform Publ., 2006. 10 p.
8. *GOST 3647-80. Materialy shlifoval'nye. Klassifikatsiya. Zernistost' i zernovoy sostav. Metody kontrolya* [State Standard 3647-80. Abrasives. Grain sizing. Graininess and fractions. Test methods]. Moscow, Standards Publishing House, 2004. 19 p.
9. *GOST R 53922-2010. Poroshki almaznye i iz kubicheskogo nitrida bora (el'bora). Zernistost' i zernovoy sostav shlifporoshkov. Kontrol' zernovogo sostava* [State Standard of RF 53922-2010. Diamond and from cubic boron nitride (elbon) powders. Grain and grain size distribution of grinding powders. Test of grain size distribution]. Moscow, Standartinform Publ., 2011. 12 p.
10. *GOST R 51568-99. Sita laboratornye iz metallicheskoj provolochnoy setki. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard of RF 51568-99. Test sieves of metal wire cloth. Specifications]. Moscow, Standards Publishing House, 2003. 10 p.
11. *GOST R 52587-2006. Instrument abrazivnyy. Oboznacheniya i metody izmereniya tverdosti* [State Standard of RF 52587-2006. Abrasive tools. Designations and hardness test methods]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 12 p.
12. *GOST R 52710-2007. Instrument abrazivnyy. Akusticheskij metod opredeleniya tverdosti i zvukovykh indeksov po skorosti rasprostraneniya akusticheskikh voln* [State Standard of RF 52710-2007. Abrasive tools. Acoustic method for determination of hardness and sound indices by reduced acoustic wave velocity]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 20 p.
13. *GOST R 52781-2007. Krugi shlifoval'nye i zatochnye. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard of RF 52781-2007. Grinding and tool-grinding wheels. Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2008. 32 p.
14. *GOST 3060-86. Krugi shlifoval'nye. Dopustimye neuravnoveshennye massy i metod ikh izmereniya* [State Standard 3060-86. Grinding wheels. Unbalanced masses and measurement method]. Moscow, Standards Publishing House, 1986. 18 p.
15. *GOST R 52588-2006. Instrument abrazivnyy. Trebovaniya bezopasnosti* [State Standard of RF 52588-2006. Abrasive tools. Safety requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 23 p.
16. *GOST 5009-82. Shkurka shlifoval'naya tkanevaya. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard 5009-82. Abrasive cloth. Specifications]. Moscow, Standards Publishing House, 2001. 11 p.
17. *GOST 13344-79. Shkurka shlifoval'naya tkanevaya vodostoykaya. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard 13344-79. Waterproof abrasive cloth. Specifications]. Moscow, Standards Publishing House, 1979. 8 p.

18. *GOST 6456-82. Shkurka shlifoval'naya bumazhnaya. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard 6456-82. Abrasive paper. Specifications]. Moscow, Standards Publishing House, 1990. 12 p.
19. *GOST 10054-82. Shkurka shlifoval'naya bumazhnaya vodostoykaya. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard 10054-82. Waterproof abrasive paper. Specifications]. Moscow, Standards Publishing House, 1990. 9 p.
20. *GOST 22773-77. Listy i diski shlifoval'nye. Tipy i razmery* [State Standard 22773-77. Grinding sheets and discs. Types and dimensions]. Moscow, Standards Publishing House, 1985. 5 p.
21. *GOST 22774-77. Konusy i trubki shlifoval'nye. Tipy i razmery* [State Standard 22774-77. Grinding cones and tubes. Types and dimensions]. Moscow, Standards Publishing House, 1985. 4 p.
22. *GOST 22775-77. Krugi shlifoval'nye lepestkovye. Tipy i osnovnye razmery* [State Standard 22775-77. Grinding wheels from abrasive paper. Types and main dimensions]. Moscow, Standards Publishing House, 1985. 5 p.
23. *GOST 8692-88. Disky shlifoval'nye fibrovye. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard 8692-88. Fibre abrasive disks. Specifications]. Moscow, Standards Publishing House, 1995. 11 p.