



Продолжение. Начало в № 2–2021

Обдирочные круги на бакелитовой связке

ПАРАМЕТРЫ И КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Обдирочное шлифование является одним из наиболее производительных и экономически эффективных способов черновой обработки слитков, блюмов, слябов, заготовок, проката и разнообразных металлоконструкций. Но его эффективность полностью зависит от грамотности выбора абразивного круга и используемых для его изготовления материалов

Судя по реакции на первую публикацию, интерес к теме статьи со стороны специалистов превзошел ожидания, но однозначных мнений не сформировалось. С одной стороны, информация по абразивам интересна для многих предприятий: подобных информационных материалов в открытом доступе давно не было. Классификация обдирочных операций принята специалистами в области абразивной обработки как эксклюзивная. Приведенные рекомендации актуальны, так как немногочисленные публикации и рекламные материалы ведущих производителей скудно освещают тему обдирочного шлифования.

С другой стороны, у большинства отечественных специалистов по абразивной обработке уже сформировались устаревшие стереотипы выполнения операций с использованием примитивного оборудования и обдирочных кругов, изготовленных по устаревшей технологии. Во многих случаях для сокращения расходов на операцию игнорируются элементарные требования безопасности. Исключение составляют только несколько крупных металлургических заводов.

Очевидно одно: пользователям не хватает информации для организации производства и оснащения при выполнении обдирочных операций, а также выбора обдирочных кругов с характеристиками, соответствующими конкретным операциям. Ведущим европейским производителям выгодно подсадить нашего пользователя на дорогие высокопроизводительные круги, но без эффекта на примитивных операциях. При этом отечественные производители морально устаревшей продукции чувствуют себя пока комфортно.

Прежде чем дать рекомендации по выбору характеристик обдирочных кругов, целесообразно определить влияющие на их качество параметры.

Основным компонентом любого абразивного инструмента является абразивный материал. Для обдирочного шлифования используется, в основном, абразивное зерно из группы электрокорундов и крайне редко — карбида кремния.

Для того, чтобы разобраться в эксплуатационных свойствах данных материалов, целесообразно сравнить характеристики

нормального и циркониевого электрокорунда, а также формокорунда, обычно применяемых при обдирочном шлифовании.

ДЛЯ СПРАВКИ

Химически чистый электрокорунд представляет собой кристаллическую окись алюминия, получаемую в результате плавки химически чистой окиси алюминия при температуре около 2050 °С.

Содержит:

- 91–99 % Al_2O_3 ;
- плотность: 3,93–4,01 г/см³;
- микротвердость: 1800–2600 кгс/мм²;
- твердость по шкале Мооса: 8,9–9,1.

По твердости корунд уступает только алмазу, кубическому нитриду бора, карбиду бора и карбиду кремния. Выпускается более десяти основных разновидностей электрокорунда, которые в зависимости от содержания двуокиси алюминия и примесей имеют различный цвет, структуру и свойства.

ЭЛЕКТРОКОРУНД НОРМАЛЬНЫЙ

Электрокорунд нормальный (А) является наиболее часто используемым материалом в абразивной обработке. Его получают путем плавки боксита в электродуговой печи. Высокая твердость и прочность зерен позволяют использовать его для абразивной обработки. Наиболее широкое применение в мировой практике нормальный электрокорунд находит при изготовлении обдирочного, отрезного и шлифовального инструмента на органических связках. Характеристики электрокорунда нормального представлены в табл. 1 и табл. 2.

Таблица 1. Химический состав электрокорунда нормального

Зернистость	Химический состав, %					Магнитный материал, %
	Al ₂ O ₃ min	Fe ₂ O ₃ max	SiO ₂ max	TiO ₂	CaO max	
F12-F30	94,5	0,5	1,0	2,0...3,8	0,25	0,12
F36-F80	95,0	0,4	1,0	2,0...3,8	0,25	0,1



Типовой анализ нормального электрокорунда компании «Вашингтон Милс»:
Al₂O₃ — 96,0 %, TiO₂ — 2,7 %,
Fe₂O₃ — 0,15, SiO₂ — 0,7 %,
CaO — 0,15 %,
другое — менее 0,8 %.

Таблица 2. Насыпная плотность электрокорунда нормального, г/см³

F12	F14	F16	F20	F22
2,0-2,2	2,0-2,08	1,97-2,05	1,94-2,02	1,92-2,0
F24	F30	F36	F40	F46
1,88-1,96	1,88-1,96	1,87-1,35	1,81-1,89	1,79-1,87
F54	F60	F70		
1,77-1,85	1,76-1,84	1,75-1,83		

Ведущие производители абразивных материалов выпускают достаточно много нормального электрокорунда разных марок, которые отличаются по химическому составу, насыпному весу, разрушаемости. Есть электрокорунд, предназначенный для гибкого инструмента (по ряду Р), для огнеупоров, для струйной обработки и даже для дорожных покрытий. Практикуется выпуск глубокопрокаленного электрокорунда и с керамическим покрытием. Выпускается электрокорунд повышенной чистоты, который изготавливается из кальцинированных бокситов и содержит порядка 98 мас. % Al₂O₃.

ЭЛЕКТРОКОРУНД ЦИРКОНИЕВЫЙ

Электрокорунд циркониевый (ЗА) является наиболее эффективным абразивным материалом для обдирочных операций и характеризуется очень высокой прочностью. Получается методом плавки в электродуговой печи. Двоокись циркония ZrO₂ не образует с корундом химических соединений и твердых растворов, а расплав, состоящий из 40% ZrO₂ и 60% Al₂O₃, кристаллизуется в виде эвтектики.

Характерной чертой системы Al₂O₃-ZrO₂, содержащей 20-25% ZrO₂, является присущая корунду высокая твердость в сочетании с повышенной вязкостью разрушения.



АБРАМАТ

абразивні матеріали

МИ ПРОПОНУЄМО
широкий спектр шліфувального
та полірувального інструменту
власного виробництва

Шліфувальні пелюсткові круги,
пелюсткові круги з нетканних матеріалів,
полірувальники та полірувальні пасти —
це лише малий перелік продукції нашого підприємства.
Асортимент наших виробів постійно розширюється.

Одна з останніх новинок —
круги з пресованого нетканого матеріалу.



ШЛІФУВАЛЬНИЙ
ІНСТРУМЕНТ
НА ГНУЧКІЙ ОСНОВІ

ПОЛІРУВАЛЬНИЙ
ІНСТРУМЕНТ

ШЛІФУВАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ
З НЕТКАНОГО ШЛІФУВАЛЬНОГО
МАТЕРІАЛУ

Заради реалізації ваших найсмівливіших проєктів
ми зможемо виготовити шліфувальний інструмент
згідно з вашим технічним завданням



Володимир Мартинов, директор.
Тел. +38050 325-07-27
Валентин Глазунов, відділ збуту.
Тел. +38050 325-32-35
Вул. Григорія Рудика, буд. 6,
м. Харків, Україна, 61070

abramat.com.ua; abrasives.com.ua

abramat@ukr.net, zakaz@abrasives.com.ua

Круги из циркониевого электрокорунда на обдирочных операциях заготовок из нержавеющей стали более чем в 10 раз эффективнее кругов из нормального электрокорунда.

Циркониевый электрокорунд для операций обдирочного шлифования содержит до 25% ZrO_2 . Для производства шлифовальной шкурки применяется циркониевый корунд с содержанием ZrO_2 до 40%. Основные требования к электрокорунду циркониевому у ведущих мировых производителей следующие (табл. 3, табл. 4).

Таблица 3. Химический состав электрокорунда циркониевого

Марка	Массовая доля, %				
	Al_2O_3	ZrO_2	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2
ZA (25%)	74,5–75,5	23,5–25,5	Не более 0,50	Не более 0,20	Менее 0,30
Типовой анализ	74,8	25,1	0,46	0,11	0,3
ZA (40%)	59,2	39,4	0,44	0,1	0,3



Типовой анализ циркониевого электрокорунда компании NORTON:
 Al_2O_3 — 75,0%, ZrO_2 — 24,1%,
 TiO_2 — 0,1%, SiO_2 — менее 0,2%,
 MgO — 0,05%, CaO — 0,07%,
 другое — менее 0,8%.

Таблица 4. Насыпной вес электрокорунда циркониевого, $г/см^3$, не менее

F8	F10	F12	F14	F16
2,35	2,47	2,45	2,42	2,4
F20	F22	F24	F30	F36
2,36	2,33	2,30	2,28	2,26

ФОРМОКОРУНД

Формокорунд (SO 200 или 801 A) — результат спекания боксита и технического глинозема. Выпускается в виде заготовок диаметром 1...2 мм и длиной 1...8 мм. Получают методом экструдирования специально подготовленной шихты с последующим спеканием при температуре 1700 °С.

Для обдирочного шлифования используются исключительно зерна цилиндрической формы. Мелкая кристаллизация формокорунда, высокие прочностные свойства, хорошая самозатачиваемость обуславливают преимущественное использование его в производстве абразивного инструмента для тяжелых обдирочных работ.



Прочность:
 при сжатии 1,7...1,8 ГПа;
 при изгибе 0,6–0,7 ГПа;
 пористость 4–6%;
 содержание Al_2O_3 — в пределах 80–87%, Fe_2O_3 — не более 1,5%.

Формокорунд, как абразивный материал, применяется исключительно в смеси с циркониевым или нормальным электрокорундом.

КАРБИД КРЕМНИЯ ЧЕРНЫЙ

Карбид кремния черный (C) является искусственным высокоэффективным абразивным материалом. Производство карбида кремния основано на эндотермической реакции кремнезёма с углеродом. Основным сырьем является кварцевый песок и нефтеккок.



Твердость по шкале Мооса составляет 9,0...9,5 единиц.

Черный карбид кремния используется для обработки твердых сплавов, чугуна, цветных металлов, резины, кожи, пластика, дерева, минеральных пород и т.д.

В обдирочном шлифовании используется исключительно для обработки чугуна в смеси с электрокорундами. Характеристики карбида кремния черного представлены в табл. 5 и табл. 6.

Таблица 5. Химический состав карбида кремния черного

Зернистость	Массовая доля, %			Массовая доля, %, не более
	SiC, не менее	Fe, не более	C, не более	
F16–F54	98,0	0,2	0,3	0,1

Таблица 6. Насыпная плотность карбида кремния черного, $г/см^3$, не менее

F12	F14	F16	F20	F22
1,36	1,36	1,37	1,37	1,39
F24	F30	F36	F40	F46
1,40	1,40	1,42	1,42	1,40
F54	F60	F70		
1,40	1,40	1,39		

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Для полной картины целесообразно привести сравнительные физико-механические характеристики, влияющие на эксплуатационные показатели перечисленных абразивов (табл. 7).

Таблица 7. Сравнительные физико-механические характеристики электрокорундов

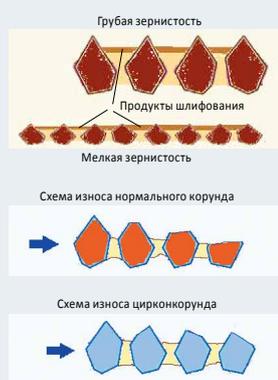
Наименование материала	Плотность, $г/см^3$	Микротвердость, $кгс/мм^2$	Разрушаемость, %	Насыпная плотность, $г/см^3$
Электрокорунд нормальный (A)	3,9	2000...2300	не более 36	1,7...2,2
Электрокорунд циркониевый (ZA)	4,35	2300...2500	не более 20	2,2...2,4
Формокорунд (SO 200)	3,7...4,1	1800...2200	не более 42	1,7...2,0
Карбид кремния черный (C)	3,21	3300...3600	не более 45	1,36...1,42

ЗЕРНИСТОСТЬ ОБДИРОЧНЫХ КРУГОВ

Зернистость обдирочных кругов — сопутствующая характеристика абразивов, которая является важным свойством при определении способности круга удалять материал. Показателю зернистости соответствует число, увеличивающееся по мере уменьшения размера зерна. Например, при зернистости F10 максимальный размер зерна в средней части — около 2,0 мм, а при зернистости F20 — 1,0 мм. Для обдирочных кругов используются зерна по стандарту FEPA (табл. 8).

Таблица 8. Соотношение зернистости FEPA и размера основной фракции электрокорундов

F8	F10	F12	F14	F16
2800–2360	2360–2000	2000–1700	1700–1400	1400–1180
F20	F22	F24		
1180–1000	1000–850	850–710		



Учитывая то, что в обдирочном шлифовании шероховатость обработанной поверхности не является критичным фактором, целесообразно применять крупное зерно. Чем крупнее зерно, тем эффективнее абразивная обработка. При выполнении обдирочных операций толщина слоя материала, снимаемого за проход, находится в прямой зависимости от размеров зерен. Однако есть различия в абразивной способности разных материалов.

Зерна циркониевого корунда в круге работают в режиме устойчивого самозатачивания и имеют период стойкости единичного зерна значительно выше, чем у электрокорунда нормального. Это объясняется его микрокристаллической структурой. Такими же свойствами самозатачивания отличается формокорунд. Зерна нормального корунда затупляются в процессе шлифования и теряют свои абразивные свойства.

Поскольку при шлифовании зерна электрокорунда затупляются, оператор должен компенсировать ухудшение результативности процесса за счет значительного увеличения прилагаемого усилия, чтобы обеспечить производительность. При этом в результате трения повышается температура в зоне обработки, и происходит разрушение связующего. Это в большей степени касается нормального электрокорунда, в меньшей — циркониевого корунда. Поэтому в составе круга должно быть всё сбалансировано: зернистость абразива, термоустойчивость, адгезионная прочность и количество связующего, прочность удержания абразива. Нарушение этого баланса приводит к потере стойкости или к снижению абразивной способности круга. Одним из важных показателей здесь является твердость круга.

ДЛЯ СПРАВКИ.

Процесс обдирочного шлифования осуществляет шлифзерно, которое при износе должно замещаться следующим, то есть постоянно должен происходить процесс «самозатачивания» круга. Механизм удаления затупившихся зерен предусматривает несколько вариантов:

- локальное выгорание органического связующего под действием сил трения и повышенной температуры в зоне резания, с выкрашиванием абразива;
- механическое ударное удаление зерна с усилием, превышающим силы сцепления их со связкой.



АТА АБРАЗИВ



Шлифовальные головки
ГОСТ 2447-82



Шлифовальные круги
ГОСТ 2424-83



Шлифовальные бруски
ГОСТ 2456-82

ТУ 23.9 - 37611883 - 001:2016

Правильно подобранный абразивный инструмент — необходимая складовая производного процесса на предприятиях машиностроения. Инструментальное производство, подшипниковая промышленность, верстатобудовання, автомобильная промышленность и нефтегазовое машиностроение, авиабудовання та суднобудовання, производство оборудования для легкой и пищевой промышленности — это лишь деякі з галузей машинобудовання, для яких необхідний якісний абразивний інструмент.

ТОВ «АТА АБРАЗИВ» з 1991 року виробляє шлифовальные головки, круги та бруски в Україні

Шлифовальные головки
від 3 до 40 мм

Шлифовальные круги
від 3 до 150 мм

Шлифовальные бруски
до 200 мм

А також інші види дрібнорозмірних абразивних виробів за кресленнями замовника

Абразивний інструмент з:



Электрокорунд нормальный



Электрокорунд білий



Электрокорунд хромистий



Электрокорунд хромтитанистий



Монокорунд



Сферокорунд



Карбід кремнію чорний



Карбід кремнію зелений

Застосування в технології виробництва абразивних матеріалів від кращих виробників, спеціальних керамічних зв'язок і наповнювачів, контроль на кожному етапі виробництва забезпечують високу стійкість абразивного інструменту, високу точність та відмінну якість обробленої поверхні. Можливе виготовлення інструменту, що має зернистість від F24 до F1000, твердість від М до Т, а також імпрегнування сіркою та іншими речовинами.

ТВЕРДОСТЬ ОБДИРОЧНЫХ КРУГОВ

Твердость обдирочных кругов — это показатель, характеризующий прочность удержания зерна в круге (табл. 9). Твердость меняется в зависимости от количества связующего вещества, наполнителей и абразивного материала, из которых состоит круг. Твердость круга является не мерой твердости абразивного материала, а мерой способности связующего удерживать абразивные зерна в круге.

Твёрдость обдирочных кругов назначается, как правило, с учетом условий их эксплуатации, зернистости и марки абразивного материала. От этого показателя зависит и технология изготовления. При формообразовании более мягких кругов (Q...T) применяется холодное прессование. Чрезвычайно твёрдые круги (V...Z) из циркониевого электрокорунда изготавливаются исключительно методом горячего прессования.

Для кругов из нормального электрокорунда, в которых шлифзерно интенсивно затупляется, высокая твёрдость V...Z не позволит обновлять зерно, круг не будет шлифовать, будет засаливаться и гореть. Обдирочный круг из циркониевого корунда зернистостью F10 будет неэффективным на твердостях O...P...Q зерно будет просто выкрашиваться.



Немаловажным моментом является то, что высокотвердые круги достаточно прочные и могут использоваться на скоростях 80 м/с. В любом случае твердость, прочность и работоспособность обдирочных кругов определяются свойствами бакелитовой связки. Без хорошего связующего все превосходные свойства абразивных материалов нивелируются.

Все производители обдирочных кругов, без исключения, используют **бакелитовую связку**. Главным компонентом связки является сухое фенольное связующее (пультвербакелит). Учитывая высокую твердость кругов и необходимую прочность, сухое связующее используется с высоким содержанием отвердителя — уротропина (более 9%) и низкой текучестью (10...20 мм). В качестве клеящего увлажнителя используется жидкое фенольное связующее с высоким содержанием твердого остатка или фурфурол (для горячепрессованных кругов). Марок фенольных связующих для обдирки десятки, но только производитель решает, какие именно связующие применять.

Для регулирования свойств связующего применяются **тонко-дисперсные наполнители**, как правило, неорганические, которые используются в смоляной матрице для увеличения уровня прочности, теплостойкости, ударопрочности и технологичности при изготовлении кругов. Это эндотермические наполнители, химически активные при шлифовании и повышающие температурный предел термической деструкции связующего (криолит, пирит, фтороборат калия и т.д.), а также химически активные при отверждении связующего и инертные наполнители (известь, мел и т.д.).

Влияние смол и наполнителей на качество обдирочных кругов существенно, и каждый производитель держит информацию закрытой.

В заключение целесообразно уточнить рекомендации по характеристикам кругов для разных групп операций (табл. 10). 

Таблица 9. Твердость обдирочных кругов

Степень твердости		Мягкий	Средне мягкий	Средний	Средне твердый	Твердый	Весьма твердый	Чрезвычайно твердый
Обозначение	FEPA	H I J	K L	M N	O P Q	R S	T U	V W X Y Z
	ГОСТ	M1 M2 M3	CM1 CM2	C1 C2	CT1 CT2 CT3	T1 T2	BT1 BT2	CT

Таблица 10. Рекомендации по выбору кругов для различных операций

Группа обработки	Обозначение кругов			
	Конструкционные и низколегированные стали	Легированные стали	Нержавеющие стали	Чугун СЧ
Скоростное силовое обдирочное шлифование на линиях сплошной зачистки заготовок	ZA + A 10 Z BF 80	ZA + A 10–12 Y BF 80	ZA + SO200 16 Y BF 80	ZA + A (+C) 12 Y BF 80
Обдирочное шлифование на стационарных обдирочных станках для сплошной и выборочной зачистки	ZA + A 12 V BF 63	ZA + A 16 W BF 63	ZA + WA 20 T BF 63	ZA + C 16 W BF 63
Обдирочное шлифование на станках подвешенного типа и маятниковых станках	A 16–22 Q... S BF 63	ZA + A 16–22 Q... R BF 63	ZA + WA 22 N BF 63	A + C 20 S BF 63
Обдирочное шлифование на обдирочных станках (типа «наждак»)	A 16–22 P... R BF 50	A 16–22 Q... R BF 50	A + WA 22 N BF 50	A + C 20 P... R BF 50
Обдирочное шлифование с использованием ручных шлифовальных машин	A 22 N... R BF 50	A 22 N... P BF 50	ZA + A 22 N BF 50	A + C 22 N... P BF 50

 Автор: Эсмантович С. Н.

независимый эксперт в области производства абразивов.
esmantovych59@gmail.com | www.abrasive.pro