

ВЛИЯНИЕ РЕГЕНЕРИРОВАННОГО АБРАЗИВНОГО ЗЕРНА НА КАЧЕСТВО ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ НА КЕРАМИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ

***Н.И. Веткасов¹, Л.В. Худобин¹, С.М. Михайлин², А.Г. Морозова³,
С.В. Жданов²***

¹ Ульяновский государственный технический университет
432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32

² ОАО «Димитровградхиммаш»
433511, Ульяновская область, г. Димитровград, ул. Куйбышева, 256

³ Южноуральский государственный университет
454080, г. Челябинск, просп. Ленина, 76

Представлены результаты физико-химических исследований регенерированного зерна электрокорунда, в том числе после его высокотемпературного нагрева. Исследовано влияние регенерированного абразивного зерна на геометрические параметры полуфабрикатов кругов на керамической связке, размеры и твердость шлифовальных кругов, содержащих от 10 до 75 % регенерированного абразивного зерна.

Ключевые слова: *электрокорунд, абразивное зерно, агрегатированное зерно, регенерированное зерно, связка, формовочная смесь, шлифовальный круг.*

Работоспособность любого абразивного инструмента (АИ) в решающей степени определяется зернами абразивного материала, являющимися его основой. Наиболее широкое применение в промышленности получили АИ из электрокорундовых материалов – электрокорунда белого, нормального, хромистого, хромтитанистого, циркониевого и монокорунда, используемые для абразивной обработки заготовок из сталей почти всех марок и многих сплавов. При шлифовании, как правило, предпочтительны АИ из электрокорунда белого 25А, зерна которого имеют большую абразивную способность по сравнению с зернами других электрокорундов. Большое влияние на качество зерен абразивного материала оказывают содержащиеся в нем примеси.

Массовая доля магнитного материала должна быть не более 0,01 % для абразивного зерна (АЗ) зернистости F36...F180 (обозначение по стандарту – ISO 8486-1, 50...8 по ГОСТ 3647-80). Примеси электрокорунда могут заключаться в его зернах или механически загрязнять его. В последнем случае они могут быть тем или иным способом удалены без разрушения зерна. Весьма вредным может быть влияние примесей, находящихся на поверхности зерна. Эти примеси, даже если они особенно не ухудшают свойств самого зерна, могут при взаимодействии с керамической связкой изменять ее свойства и этим косвенно ухудшать свойства электрокорунда как абразивного материала. Достоверно известно, что содержание окислов типа R_2O_2 повы-

Николай Иванович Веткасов (д.т.н. проф.), заведующий кафедрой «Технология машиностроения».

Леонид Викторович Худобин (д.т.н. проф.), профессор кафедры «Технология машиностроения».

Сергей Михайлович Михайлин (к.т.н.), генеральный директор.

Алла Георгиевна Морозова (к.х.н.), старший научный сотрудник.

Сергей Владимирович Жданов, начальник бюро.

шает твердость и уменьшает вязкость АЗ. Примеси железа в виде ферросплава вредны, так как они, реагируя с керамической связкой, образуют так называемую «мушку» в виде темных пятен, что значительно ухудшает свойства АИ. Содержание SiO_2 значительно снижает абразивную способность электрокорунда [1]. Последними исследованиями установлено, что в процессе кристаллизации окись натрия образует с окисью алюминия соединение $Na_2O \cdot 12Al_2O_3$, которое имеет вдвое меньшую абразивную способность, чем электрокорунд [2].

Химический состав белого электрокорунда, производимого на разных заводах, отличается содержанием примесей и зависит от качества исходного сырья, устройства электропечей и других факторов.

Поскольку абразивное зерно 25А является самым дорогостоящим компонентом формовочной смеси для изготовления АИ, стоимость АИ можно существенно снизить путем введения в эту смесь регенерированного зерна (РЗ).

ЗАО ППК «Южуралинструмент» (ЗАО НПК «ЮУИ») (г. Челябинск) изготавливает РЗ электрокорунда белого 25А зернистостью от 40 до 4 по ГОСТ 3647 (или F46...F220 по стандарту ISO 8486-1).

Химический состав РЗ по нормам технических условий представлен в табл. 1.

Таблица 1

Нормативный химический состав РЗ 25А (ТУ 3989-002-42494022-2008)

Массовая доля, %				Магнитные материалы, %, не более
Fe_2O_3 , не более	SiO_2 , не более	Na_2O , не более	Al_2O_3	
0,2	2,3	0,3	97,0	0,01

Получают регенерированное зерно 25А из боя шлифовальных кругов (ШК) на керамической связке в несколько этапов. Сначала крупные куски боя и целые бракованные ШК нагревают в щелевой печи до 500...800 °С. Затем быстро охлаждают, например погружая бой кругов в воду, при этом куски боя разрушаются на мелкие части. Процесс нагрева боя кругов можно заменить разрушением их на копре и дальнейшим разрушением на щековой дробилке. Заключительное измельчение проводят на шаровой мельнице с помощью металлических шаров. Время вращения мельницы, размер и состав шаров подбирают в зависимости от требуемого гранулометрического состава регенерированного зерна 25А. После обеспыливания рассев РЗ на фракции выполняют на многоуровневых ситах. Возможно получение РЗ путем обжига отработанных ШК на бакелитовой связке.

Как правило, РЗ загрязнено примесями связки и железа, что значительно ухудшает его качество и снижает работоспособность. Цвет зерен изменяется до темно-желтого. Допускается присутствие до 6 % конгломератов, состоящих из темных кристаллов белого электрокорунда, скрепленных керамической связкой. В целом содержание связки в РЗ допускается до 6,5 %.

В лабораториях Южно-Уральского государственного университета (г. Челябинск) проведены комплексные физико-химические исследования образцов регенерированного белого электрокорунда производства ЗАО НПК «ЮУИ».

Макроскопические исследования показали, что РЗ имеет светло-желтый цвет благодаря налету тонкой железосодержащей пыли и «примазок» буро-красного цвета (остатки от разложения пирита и криолита – спека пирита с криолитом). Содер-

жание примесей (пиритных огарков), растворимых в смеси кислот ($HCl + HNO_3$), составило 0,56 %.

В пробе, состоящей из отдельных зерен, присутствуют конгломераты из мелких кристаллов белого электрокорунда, скрепленных керамической связкой, которые, по сути, являются агрегатированным зерном. Прослойка керамической связки очень тонкая ($\approx 5 - 10$ мкм). Свободные осколки стекла (остатки керамической связки) под бинокулярным микроскопом не обнаружены. Под микроскопом *NU-2* в иммерсионных препаратах установлено присутствие единичных осколков стекла размером 10...30 мкм. Кристаллы корунда имеют показатель светопреломления, не отличающийся от стандартного ($N_g = 1,768 \pm 0,03$). Результаты химического анализа представлены в табл. 2 (анализ проведен по ОСТ 2 МТ 71-6-85). Как следует из сравнения табл. 2 и 1, химический состав РЗ 25А удовлетворяет требованиям ТУ.

Таблица 2

Химический состав РЗ 25А, % масс.

Al_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	Fe_2O_3	Na_2O	SiO_2	Прочие посторонние примеси
97,0	Меньше 0,1	Меньше 0,1	0,05	0,18	0,27	2,20	0,01

Содержание зерна 25А в пробе составило 94,04 %, содержание керамической связки – 5,96 %. Присутствие тонких железосодержащих примесей портит товарный вид продукции по цвету.

Наличие агрегатированных зерен электрокорунда белого не должно служить браковочным показателем, так как по размерности эти агрегаты соответствуют марке зерна и по режущей способности не только не уступают зерну, а превышают его из-за наличия дополнительных кромок. Содержание их в общей массе пробы достигает 15...20 %.

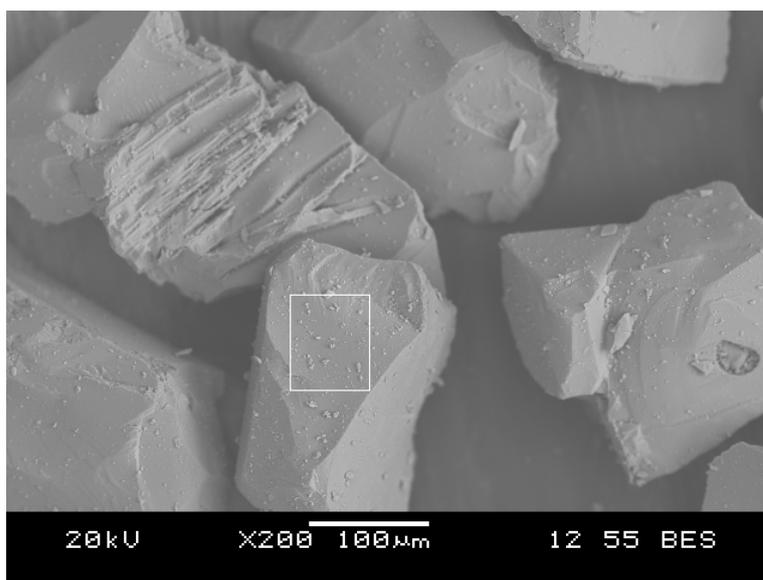
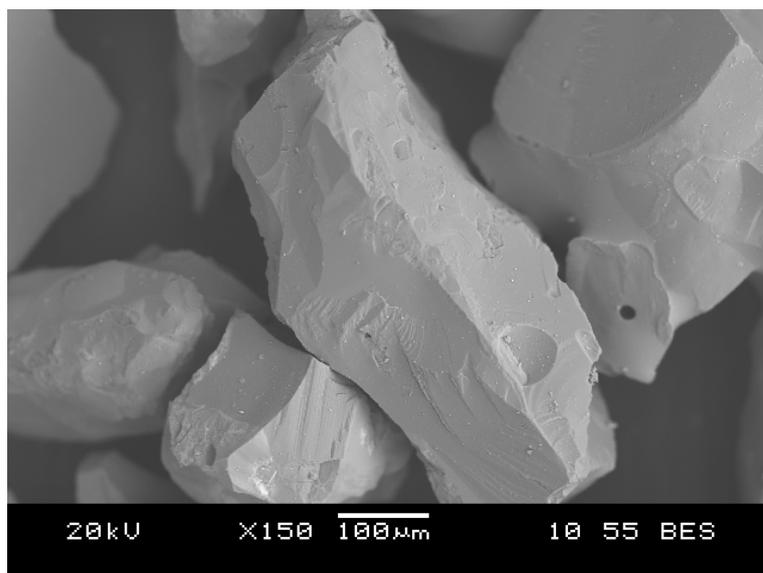
Таким образом, зерно для потребителей можно представить как «зерно электрокорунда белого + агрегатированное зерно этого электрокорунда». Иностранные фирмы («Трейбахер» и др.) рекомендуют применять подобные зерна для изготовления шлифовальных шкурок и других АП.

Фазовая индивидуальность белого электрокорунда исследуемой пробы подтверждена данными рентгенографического анализа на приборе *ADVANCE D8*.

Межплоскостные расстояния (по данным рентгеноструктурного анализа) присущи корунду, других кристаллических соединений в пробе не обнаружено.

Количественный и качественный спектральный анализ пробы проводили на электронном микроскопе *JEOL JSM 648 CLV* системы *INCA*. Оборудование позволяет проводить визуальную оценку материала, определять вариации химического состава. Рентгеновское излучение генерируется в образце под воздействием пучка электронов и представляется в рентгеновском спектре, по которому программа автоматически идентифицирует элементы, определяет качественный и количественный состав образца. Прибор обладает управляемым электронным зондом с привязкой к изображению (выделяется квадратом (рис. 1)). При исследовании использовали программу построения карты распределения элементов.

Микрорентгеноспектральным анализом установлено, что 94 % материала РЗ представлено белым электрокорундом, химический состав которого приведен в табл. 3.



Р и с. 1. Внешний вид зерна белого электрокорунда

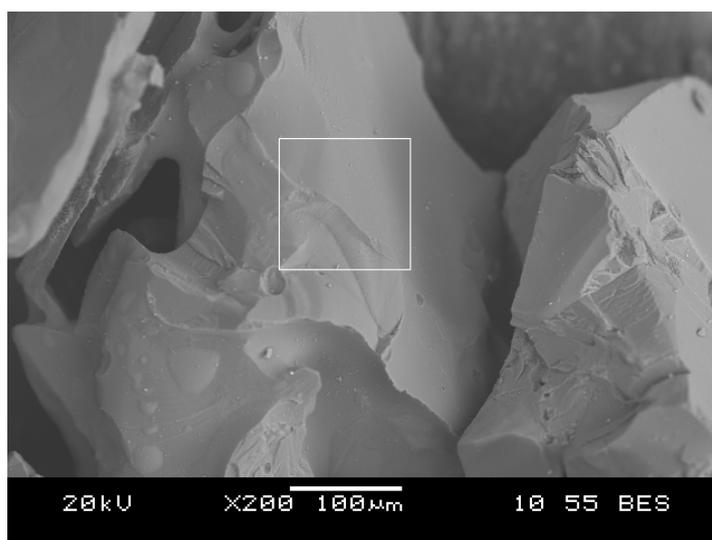
Таблица 3

Химический состав белого электрокорунда по данным микрорентгеноспектрального анализа

Компонент	<i>Al</i>	<i>O</i>	<i>Fe</i>
Содержание компонента, атом. %	41,39	58,61	0
Содержание компонента, масс. %	53,85	46,15	0

При пробоподготовке использовали специальный органический клей, проводили очистку от железа, напыляли платиновое проводящее покрытие. Содержание углерода в клее на пробе составляет 5,33 атом. %, или 8,97 масс. %.

В составе исследуемой пробы обнаружено 6 % материала, состоящего из зерен белого электрокорунда со структурно связанными алюмосиликатными комплексами. Внешний вид зерен белого электрокорунда с такими комплексами показан на рис. 2, химический состав представлен в табл. 4.



Р и с. 2. Внешний вид зерна белого электрокорунда со структурно связанными алюмосиликатными комплексами

Таблица 4

Химический состав зерна белого электрокорунда со структурно связанными алюмосиликатными комплексами по данным микрорентгеноспектрального анализа

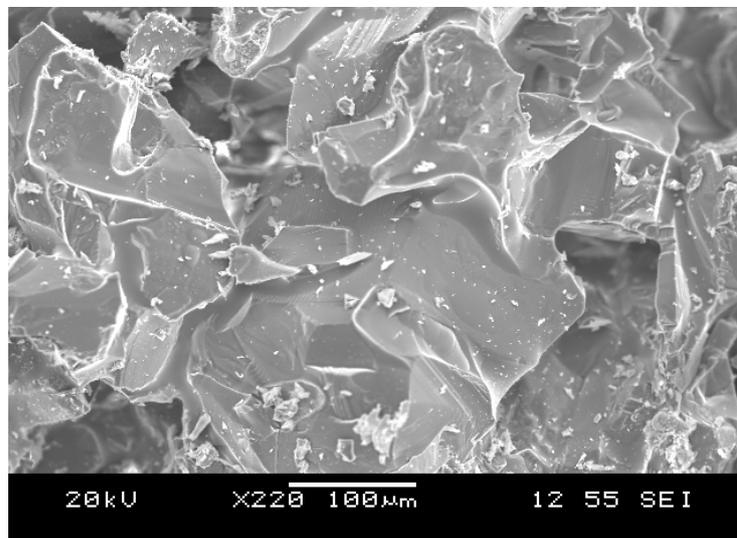
Компонент	<i>O</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>Fe</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>K</i>
Содержание компонента, атом. %	54,09	26,89	14,67	0	2,39	1,00	0,96
Содержание компонента, масс. %	40,82	34,23	19,44	0	2,59	1,15	1,77

Совместное расположение рентгеновских спектров алюминия и кремния свидетельствует о том, что алюмосиликатные комплексы представляют собой рентгеноаморфную фазовую составляющую (муллитовое стекло).

Сравнение материала исследуемой пробы РЗ после воздействия высокотемпературного нагрева до 1600 °С с белым электрокорундом производства ООО «Челябинский абразивный завод» показало, что материал РЗ после нагрева до 1600 °С спекается, образуя плотную структуру с низкой пористостью, что повышает механическую прочность изготовленных из данного материала изделий (на рис. 3 отчетливо видны области спекания, уплотняющие структуру АЗ).

Проведенный комплекс физико-химических исследований показал, что представленная проба РЗ по данным химического, рентгенофазового, электронномикроскопического, микрорентгеноспектрального анализов представляет собой бе-

лый электрокорунд, в состав которого входит 6 % зерен белого электрокорунда со структурно связанными алюмосиликатными комплексами. Другие кристаллические соединения в исследуемой пробе отсутствуют.



Р и с. 3. Внешний вид зерен белого электрокорунда после нагрева до 1600 °С

Исследованная проба РЗ из электрокорунда белого по структуре и свойствам является высокотемпературным, высокопрочным материалом, обладающим по сравнению с чистым электрокорундом известных производителей (ООО «Русал» и др.) повышенной активностью к спеканию при высоких температурах. При спекании происходит уплотнение и упрочнение материала без изменения геометрических размеров АЗ.

Результаты проведенных исследований позволили предположить, что применение регенерированного зерна 25А в рецептуре для изготовления АИ не приведет к браку и значительному ухудшению их работоспособности. Однако вопросы оптимизации содержания регенерированного зерна в АИ и выявления технологической эффективности обработки заготовок такими инструментами подлежат всестороннему исследованию (методики таких исследований см., например, в монографиях [3, 4]).

Для исследования влияния и определения предельно допустимого содержания РЗ на эксплуатационные свойства ШК были изготовлены круги 1-300×40×76 25А25НСМК 35 м/с из нового АЗ 25А25Н производства ООО «РУСАЛ» (табл. 5) и из четырех рецептур формовочной смеси с содержанием обеспыленного и промытого РЗ производства ЗАО НГТК «ЮУИ» от 10 до 75 % (табл. 6).

Формовочную смесь (см. табл. 5) готовили в смесителе СГИ. Загружали АЗ и перемешивали в течение 0,5 мин, после чего заливали воду в смеси с жидким натриевым стеклом через загрузочное отверстие в течение 1 мин. Затем смеситель останавливали для загрузки связки с декстрином, люк закрывали и включали смеситель для дальнейшего смешивания. Через 2 мин люк выгрузки открывали и формовочную смесь просеивали через сито вибрационное с ячейкой 2 мм в свету.

На следующем этапе из полученной таким образом смеси формовали полуфабрикаты ШК на керамической связке 1-300×40×76 25А25НСМК 35 м/с А2 по ГОСТ 2424 навеской 6060 г. После естественной сушки в условиях цеха полуфабрикаты

сушили при температуре 90 °С, а затем обжигали в конвективной печи при температуре 1250 °С. Механическую обработку проводили в три этапа: в первую очередь обрабатывали торцовые плоскости алмазами на плоскошлифовальном станке, затем – посадочное отверстие. На последнем этапе обрабатывали наружную цилиндрическую поверхность полуфабрикатов. Результаты измерения геометрических параметров изготовленных кругов сведены в табл. 7.

Таблица 5

**Рецептура формовочной смеси для изготовления ШК 25А 25Н
на керамической связке структуры**

Компонент	Марка	Содержание, г/круг
Абразивное зерно	25А 25Н	5017
Связка	К20	489
Стекло жидкое натриевое	–	229
Декстрин сухой	–	82
Вода	–	14

Таблица 6

**Рецептуры формовочных смесей для изготовления ШК 25А 2511
с различным содержанием РЗ**

Рецепт	Доля РЗ, %	Доля чистого зерна, %	Масса в замесе, кг	
			РЗ	чистого зерна
К1	0	100	0	17
К2	10	90	17	15,3
К3	30	70	5,1	15,3
К4	50	32	8,5	8,5
К5	75	25	12,75	7,25

Анализируя полученные результаты (см. табл. 7), можно сделать вывод, что с увеличением содержания РЗ в формовочной смеси от 0 до 75 % увеличивается усадка полуфабрикатов ШК как по высоте, так и в диаметральном направлении. Отмечено увеличение твердости ШК при ее измерении на приборе «ЗВУК» с 4821 м/с до 5260 м/с при изменении содержания РЗ от 0 до 75 %. Аналогичная закономерность выявлена также при измерении твердости шлифовальных кругов на приборе «ИМПУЛЬС». Кроме того, установлено, что с увеличением содержания РЗ растет с 2 до 3 мм толщина слоя, который необходимо удалить при механической обработке с наружной периферийной поверхности ШК. Показано, что введение до 10 % РЗ в формовочную смесь не влияет на геометрию и твердость ШК, тогда как существенное влияние на контролируемые параметры кругов отмечено при введении 30 % РЗ и более в формовочную смесь. При увеличении размеров круга и содержании РЗ в формовочной смеси более 30 % возникает необходимость увеличения припусков на механическую обработку ШК.

**Геометрические параметры ШК 1-300×40×76 25A25НСМ 7К
с различным содержанием РЗ белого электрокорунда
(масса навески 6060 г, начальная высота полуфабриката 41,0...41,5 мм)**

№ ШК (см. табл. 6)	Содержание РЗ, %	Высота круга после обжига, мм		Геометрические параметры и твердость ШК									
		Средняя для ШК	Средняя для двух ШК	Прибор «Звук»			После механической обработки						
				Наружный диаметр, мм	Скорость звука, м/с	Звуковой импульс (ЗИ)	Наружный диаметр, мм	Высота, мм	Прибор «Звук»		Прибор «Импульс»		
									Скорость звука, м/с	ЗИ	Время, с	Скорость звука, м/с	Средняя скорость звука, м/с
K1/1	0	40,75	40,73	299,5	4881	49	297,5	38,8	4886	49	7,7	5047	5051
K1/2	0	40,7		299,5	4878		297	38,8	4877	49	7,7	5087	
K2/1	10	40,65	40,62	299,5	4896	49	297,5	39,2	4896	49	7,8	4996	5035
K2/3	10	40,63		299,5	4944		297,5	38,9	4942	49	7,6	5061	
K3/1	30	40,4	40,36	298,5	5033	51	297	39	5021	51	7,5	5200	5136
K3/3	30	40,4		298,5	5045		297	39,4	5030	51	7,7	5090	
K4/1	50	40,33	40,32	297/ 296,7	5156	51	293,5	39	5171	51	7,2	5358	5293
K4/2	50	40,38		298	5100		297,8	38,9	5095	51	7,4	5280	
K5/1	75	39,65	39,78	295	5363	53	293,5	38,8	5355	53	7,2	5415	5386
K5/3	75	39,93		297	5260		294	38,9	5262	53	7,3	5357	

Выводы

На основании результатов выполненных комплексных физико-химических и технологических исследований установлено следующее:

– РЗ электрокорунда белого 25А по структуре и свойствам является высокотемпературным материалом, обладающим по сравнению с чистым электрокорундом повышенной активностью к спеканию при высоких температурах;

– при спекании полуфабрикатов ШК на керамической связке, содержащих РЗ, происходит уплотнение и упрочнение материала без изменения размеров АЗ;

– применение РЗ 25А в рецептурах формовочных смесей для изготовления ШК на керамической связке не приведет к браку и значительному ухудшению их работоспособности. Однако вопросы оптимизации содержания регенерированного абразивного зерна в ТИК и технологической эффективности шлифования такими круга-

ми подлежат дальнейшему исследованию при натуральных экспериментах;

– введение до 10 % РЗ электрокорунда белого в формовочную смесь не влияет на геометрические параметры и твердость ШК на керамической связке. Значимое влияние РЗ на эти показатели ШК отмечено при введении в формовочную смесь 30 и более процентов РЗ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абразивные инструменты и их изготовление / Под общей ред. В.Н. Любомудрова. – Л.: Машгиз, 1953. – 377 с.
2. Основы проектирования и технология производства абразивного и алмазного инструмента / Под общ. ред. Ю.М. Ковальчука. – М: Машиностроение, 1984. – 287 с.
3. Худобин Л.В. Шлифование композиционными кругами / Л.В. Худобин, Н.И. Веткасов. – Ульяновск: УлГТУ, 2004. – 356 с.
4. Кремень З.И., Юрьев В.Г., Бабошкин А.Ф. Технология шлифования в машиностроении / Под общ. ред. З.И. Кременя. – СПб: Политехника, 2007. – 424 с.

Статья поступила в редакцию 16 апреля 2013 г.

INFLUENCE OF THE RECYCLED ABRASIVE GRAIN ON THE QUALITY OF GRINDING WHEELS ON A CERAMIC BOND

N.I. Vetkasov¹, L.V. Khudobin¹, S.M. Mikliailin², A.G. Morozova³, S.V. Zhdanov²

¹ Ulyanovsk State Technical University
32, Severny Venets st., Ulyanovsk, 432027

² Open Society «Dimitrovgradhimmash»
256, Kyeibysheva st., Dimitrovgrad, 433511

³ South-Ural State University
76, Lenina pr., Cheliabinsk, 454080

There are represented the results of physical and chemical researches of the recycled grain of white electrocorundum, including after its high-temperature heating. The influence of the recycled abrasive grain on geometrical parameters of semifinished products of wheels on a ceramic bond, the sizes and hardness of the grinding wheels containing from 10 to 75 % of recycled grain is investigated.

Keywords: *electrocorundum, abrasive grain, aggregated grain, recycled grain, bond, forming mixture, grinding wheel.*

*Nikolay I. Vetkasov (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Leonid V. Khudobin (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Sergey M. Mikliailin (Ph.D. (Techn.)), general director.
Alla G. Morozova (Ph.D. (Chem.)), senior laborator.
Sergey V. Zhdanov, chief of bureau.*