

УДК 666.792

АЛМАЗНЫЕ ШЛИФОВАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА КЕРАМИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ ДЛЯ ТОНКОЙ АЛМАЗНОЙ ШЛИФОВКИ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Д. М. АВДЕЕВ, А. И. МИРАНЧУКОВ, А. А. БОЙКО

Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого, Республика Беларусь

Ю. А. АЛЕКСЕЕНКО

Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, Республика Беларусь

Введение

Повышение требований к надежности машин и приборов вызывает необходимость создания новых конструкционных материалов, обладающих необходимыми физико-механическими и эксплуатационными свойствами и, в первую очередь, высокой прочностью и износостойкостью.

Для успешного осуществления абразивной обработки необходимо, чтобы твердость абразивных зерен, из которых изготовлен инструмент, была выше твердости материала обрабатываемой заготовки. Чем больше эта разница, тем эффективнее обработка. Поэтому алмаз, обладающий наивысшей твердостью из всех известных веществ, является самым эффективным материалом для абразивной обработки.

Алмаз – одна из кристаллических модификаций углерода – имеет кубическую кристаллическую решетку. Масса алмаза измеряется в метрических каратах. Один метрический карат равен 0,2 г. Плотность алмазов 3,48-3,56 г/см³ [1].

Алмазным называют инструмент, рабочая часть которого состоит из зерен алмазного порошка, закрепленных связкой.

Алмазоносный слой является рабочей частью инструмента, определяющей его работоспособность и срок службы. Он характеризуется маркой и зернистостью алмазного порошка, твердостью, структурой, связкой, формой и размерами.

Установлено [2], что прочностные свойства керамической связки в значительной мере определяются соотношением в ней кристаллической фазы и стеклофазы. Например, прочность при растяжении материала уменьшается при увеличении доли остаточного кварца и возрастает при содержании муллита во всей исследованной области. Наибольшее повышение прочности при изгибе достигается увеличением содержания муллита в обожженной фарфорообразной керамической связке за счет уменьшения доли остаточного кварца.

Направленного изменения кристаллической структуры керамической связки можно достичь введением глинистых компонентов различного минералогического состава [3], боя строительного стекла [4] и гранитных отсеков [5]. Так, в работе [3] изучены фазовые превращения, протекающие при обжиге глинистой части отходов обогащения циркон-ильменитовых руд. При повышении температуры обжига до 1000 °С на рентгенограмме появляются линии муллита, что свидетельствует о начале кристаллизации. В работе [4] исследована возможность синтеза фарфоровидной связки на основе некондиционного сырья (перлита и трахита) и боя строительного стекла, которая характеризуется низкой температурой обжига и предназначена для

изготовления финишного и суперфинишного абразивного инструмента. После обжига керамической связки при температурах 1050-1250 °С в ней содержалось: 10-16 % муллита, 8-16 % кварца, остальное – аморфная фаза.

Известно, что обжиг абразивного инструмента на низкотемпературных связках осуществляют при температурах ≥ 1000 °С, что приводит к выгоранию зерен алмаза. В связи с этим нами изучены новые низкотемпературные керамические связки для изготовления алмазных шлифовальных кругов, позволяющие обжигать их при температурах ниже 800 °С. Это способствует сохранению зерен алмаза в керамической связке и повышению режущей способности алмазных элементов при обработке изделий из оптического стекла.

Технология изготовления алмазных шлифовальных элементов на керамической связке

В производстве алмазосодержащих шлифовальных элементов применяется большое количество механизированного и автоматизированного оборудования для приготовления смеси формования изделий, термической обработки и механической обработки.

Связка в исходном состоянии приготавливается, как правило, в виде порошка. Это позволяет при смешивании с синтетическим алмазом и абразивным зерном обеспечить равномерность распределения компонентов по всему объему инструмента.

Последовательность и режимы выполнения операций, применяемое оборудование и оснастка определяются многими факторами, среди которых основную роль играет материал связки, форма и размер инструмента, серийность производства.

Керамическая связка получается в результате полного или неполного сплавления твердых веществ во время термической обработки (обжига) при высокой температуре. Основные характеристики керамической связки: плавкость, реакционная способность, коэффициент термического линейного расширения, вязкость, теплопроводность, модуль упругости и механическая прочность. Такая характеристика как плавкость определяется температурой размягчения связки, реакционная способность характеризуется степенью взаимодействия связки с синтетическим алмазом. Вязкость очень существенно влияет на выбор технологических режимов изготовления. Различают плавящиеся и спекающиеся керамические связки. Плавящиеся – применяются при изготовлении абразивного инструмента из электрокорунда. В результате процессов, происходящих при обжиге этих связок, они целиком превращаются в стекло. Спекающиеся связки (фарфоровидные) только частично плавятся в процессе обжига.

Инструмент различной твердости и структуры изготавливается с использованием шихты связки одного состава, изменяя соотношение объемов зерна, связки и пор.

Формовочная масса готовится в два приема: в начале смешивают компоненты шихты связки, а затем компоненты абразивной формовочной массы.

Также различают однокомпонентные и многокомпонентные связки. В качестве однокомпонентных связок могут быть использованы материалы вулканического происхождения – перлит и обсидин. В настоящее время в основном используются многокомпонентные связки из смеси различных керамических материалов: глины, полевого шпата, талька, кварца и др.

Шихта керамической связки состоит из небольших по размеру твердых частиц керамических материалов. При нагреве, в спрессованных из такой смеси брикетах, вначале размягчаются наиболее легкоплавкие компоненты, которые взаимодействуют с более тугоплавкими, образуя соединения, обладающие высокой смачиваемостью по отношению к алмазным зернам. Подобран состав и технологические режи-

мы получения алмазных шлифовальных элементов на низкотемпературной керамической связке.

Первый этап изготовления алмазосодержащих материалов включает в себя приготовление керамической связки по схеме:

1. Помол боя строительного стекла в шаровой мельнице.
2. Навеска исходных компонентов керамической связки.
3. Смешивание исходных компонентов (порошок боя строительного стекла, электровакуумный алунд, борная кислота, функциональные добавки) керамической связки в смесителе.
4. Прессование связки в таблетки при помощи гидравлического пресса П6326 с усилием 0,5-1 МПа.
5. Сушка отпрессованных заготовок при температуре $100 \div 150$ °С.
6. Обжиг высушенных заготовок в муфельной печи при температуре $800 \div 900$ °С.
7. Охлаждение полученных заготовок в жидкой среде.
8. Размол заготовок в пружинной мельнице для получения порошковой связки.

Второй этап получения алмазосодержащих материалов – получение алмазосодержащей шихты и ее обжиг по схеме:

1. Смешивание полученной связки с синтетическим алмазным порошком АСМ 28/20, абразивным зерном 14АМ20 и временным связующим.
2. Прессование полученной шихты в виде заготовок нужных инструментов (таблеток, шлифовальных головок, шлифовальных кругов и т.д.) с усилием 6-15 МПа.
3. Сушка полученных заготовок при температуре $100 \div 150$ °С.
4. Обжиг полученных заготовок при температуре $700 \div 800$ °С.
5. Контроль, отбраковка и упаковывание полученных изделий.

Методика эксперимента

Образцы для исследований изготавливали из шихты методом полусухого формования с последующим обжигом.

Прочность на изгиб исследовали на разрывной машине Р-20 по ГОСТ 18228-85, твердость в соответствии с ГОСТ 19202-80 на твердомере ТР 50.60-02 УХЛ.42, пористость – методом набухания в воде по ГОСТ 26849-86. Изучение структуры алмазных шлифовальных элементов проводили по различным методикам с использованием оптической электронной сканирующей микроскопии, а также методами качественного и количественного анализа по дифрактограмме. Исследованию подвергались как исходные порошки шихты, так и спеченные при различных температурах и спрессованные при различных давлениях образцы. На образцах, полученных при оптимальных параметрах, с точки зрения обеспечения высоких эксплуатационных характеристик, исследовали фрактограммы излома при помощи растровой электронной микроскопии и делали оценочные сравнения с полученными шлифами.

Одной из важнейших характеристик алмазного абразивного инструмента, определяющих его режущую способность, производительность, срок службы и стоимость, является концентрация алмаза, т. е. весовое содержание алмаза в единице объема алмазного слоя.

За 100%-ную концентрацию условно принято содержание алмаза в количестве 4,4 карата в 1 см^3 алмазного слоя, или $0,88 \text{ мг/мм}^3$, что соответствует 72 каратам в одном кубическом дюйме (норма, впервые принятая в США).

Концентрация алмазного порошка в разработанных алмазных элементах составляет 28,6%.

Исследование поверхности излома образцов проводилось на сканирующем микроскопе «Nanolab-7», пористости на ртутном пирометре, плотности – на автоматическом пикнометре и методом гидростатического взвешивания, поверхности шлифа – на оптических микроскопах по стандартным методикам с обчетом характеристик на приборе «Magiscan».

Результаты экспериментов и их обсуждение

В табл. 1 приведены результаты микрорентгеноспектрального анализа порошка шихты связки. Из таблицы видно, что шихта керамической связки представлена, в основном, оксидами алюминия, кремния, кальция и цинка.

Таблица 1

Результаты микрорентгеноспектрального анализа порошка шихты

Элемент	Элемент										
	Al	Si	P	K	Ca	Fe	Cu	Zn	Cl	Легкие элементы	
Обр.	Г.	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	1	2,222	24,188	0	3,036	11,722	2,617	3,653	15,414	0,234	36,914
	2	3,037	27,354	0,061	3,246	12,967	2,415	1,077	11,186	0,647	38,010
	3	1,264	20,857	0	4,810	14,193	3,933	2,503	15,998	0,128	36,254
	4	4,155	25,152	0	3,496	13,503	1,990	1,533	10,880	0,441	36,892
	5	2,696	26,475	0	3,702	13,220	1,680	1,654	12,453	0,303	37,817
	6	4,214	25,951	0	3,223	12,792	3,085	0,605	13,486	0,340	36,304
	7	3,988	25,474	0	3,316	13,728	2,461	2,057	12,518	0,200	36,258
	8	3,204	26,564	0	3,122	12,952	2,649	0,632	12,907	0,009	37,960
	9	2,578	24,942	0	3,081	14,430	1,857	3,422	12,284	0,358	37,048
	10	3,404	26,837	0	3,203	12,919	3,112	1,219	11,178	0,280	37,848
	Ср.	3,072	25,580	0,006	3,423	13,243	2,586	1,836	12,830	0,294	37,131

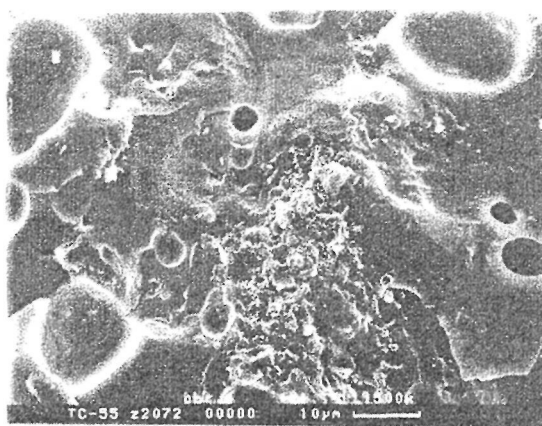
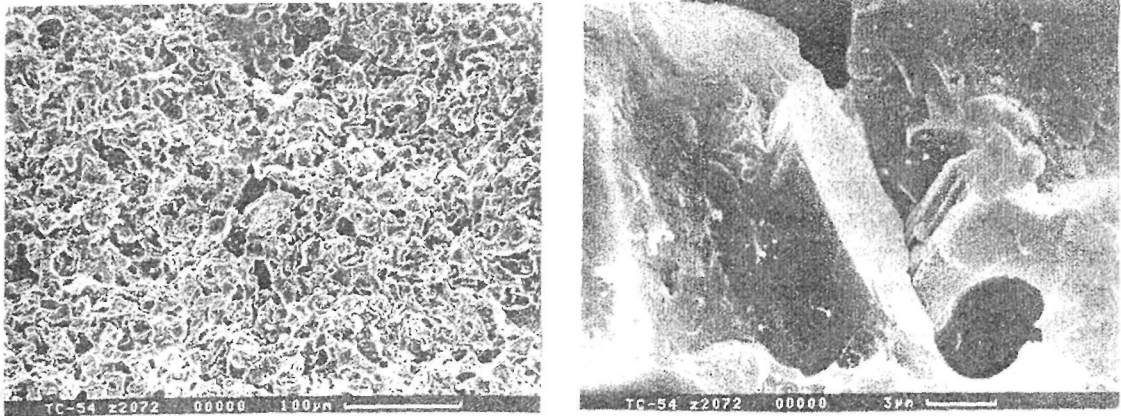


Рис. 1. Фрактограмма спеченной керамической связки

В процессе обжига алмазосодержащей шихты в объеме керамической связки образуется муллит (0,221 нм) и α - Al_2O_3 (0,255 нм). Дополнительное введение в шихту керамической связки (рис. 1) лабрадорита и шамота приводит к образованию кроме муллита и α -корунда, анорита (0,320 нм).

На рис. 2 представлены фрактограммы излома алмазного композиционного материала на керамической связке. Видно, что керамическая связка обладает хорошей смачивающей способностью к алмазным зернам и скрепляет их в прочный каркас, который обеспечивает высокие физико-механические свойства материала.

Исследовано влияние концентрации компонентов керамической связки на свойства алмазных шлифовальных элементов. В таблицах 2-4 приведено влияние концентрации боя строительного стекла, электровакуумного алунда и борной кислоты на физико-механические свойства алмазных элементов.



а)

б)

Рис. 2. Фрактограммы изломов алмазного композиционного материала

Таблица 2

Влияние концентрации боя строительного стекла на физико-механические свойства алмазного шлифовального материала, содержащего 25 мас.ч. электровакуумного алунда и 25 мас.ч. борной кислоты

Параметры	Содержание боя строительного стекла, мас.ч.				
	33,18	40	50	60	66,82
$\sigma_{из}$, МПа	32	31,7	30,4	28	25,7
НВ, МПа	1123	995	870	821	831
η , %	11,5	18,5	24,7	26,2	24,5

Таблица 3

Влияние концентрации электровакуумного алунда на физико-механические свойства алмазного шлифовального материала, содержащего 50 мас.ч. боя строительного стекла и 25 мас.ч. борной кислоты

Параметры	Содержание электровакуумного алунда, мас.ч.				
	8,192	15	25	35	41,82
$\sigma_{из}$, МПа	27,8	29,5	30,4	29,5	27,8
НВ, МПа	1236	1062	870	755	721
η , %	14,2	19,2	24,7	28	29

Таблица 4

Влияние концентрации борной кислоты на физико-механические свойства алмазного шлифовального материала, содержащего 50 мас.ч. боя строительного стекла и 25 мас.ч. электровакуумного алунда

Параметры	Содержание борной кислоты, мас.ч.				
	19,95	22	25	28	30,05
$\sigma_{из}$, МПа	32,5	31,4	30,4	29,93	29,91
НВ, МПа	667	761	870	947	980
η , %	29,9	27,8	24,7	21,6	19,4

Из табл. 2 видно, что с увеличением содержания боя строительного стекла в керамической связке наблюдается снижение прочности на изгиб и твердости абразивного материала, обусловленного повышением его пористости.

При увеличении содержания электровакуумного алунда (табл. 3) прочность при изгибе алмазного шлифовального материала проходит через максимум при содержании

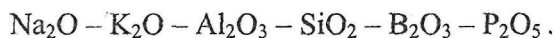
25 мас.ч. наполнителя в связке. В то же время твердость алмазного шлифовального материала снижается с увеличением содержания электровакуумного алунда в керамической связке, что обусловлено повышением пористости материала.

Увеличение содержания борной кислоты (табл. 4) в керамической связке оказывает неоднозначное влияние на свойства алмазного шлифовального материала. Так, например, прочность на изгиб алмазного шлифовального материала несколько уменьшается при повышении концентрации борной кислоты до 25 мас.ч. и остается неизменной до концентрации 30 мас.ч. борной кислоты. Твердость материала монотонно повышается с увеличением содержания борной кислоты, что обусловлено, по-видимому, снижением его пористости.

Выводы

Методом растровой электронной микроскопии исследована структура керамической связки. Установлено, что при формировании керамической связки в ее объеме образуются кристаллические фазы муллита и α -корунда. Проведены исследования физико-механических свойств алмазных шлифовальных элементов. Показано, что модификаторы, способствующие снижению пористости материалов, приводят к повышению его физико-механических свойств.

Рентгеноспектральный анализ показывает, что разработанные алмазные шлифовальные элементы с применением интенсификаторов спекания в виде боя строительного стекла, борной кислоты могут быть представлены системой:



Разработанные алмазные шлифовальные элементы представлены на рис. 3.

Проведены испытания алмазных шлифовальных элементов на керамической связке на заводе «Сфера» БелОМО при стандартных условиях на режимах, соответствующих принятым при обработке оптического стекла БОК 3 (ОСТ 3-465-84) на втором переходе тонкой алмазной шлифовки (ТАШ). По результатам испытания алмазные шлифовальные элементы на основе низкотемпературной керамической связки и алмазного порошка АСМ 28/20 рекомендуются для обработки оптических деталей из стекла с относительной твердостью по сошлифовыванию >1 на втором переходе ТАШ.

Работа выполнена в рамках задания 2.23 ГНТП «Алмазы, сверхтвердые материалы и изделия на их основе».

Обозначения:

σ_n – прочность на изгиб; HV – твердость по Бринеллю; η – пористость материала.

Литература

1. Бакуль В.Н. Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента.- М.: Машиностроение, 1975.- С. 8-9.
2. Креймер Д.Б., Чистякова Т.И. //Стекло и керамика.- 1989.- № 12.- С. 16-17.
3. Сулейменов С.Т., Сайбулатов С.Ж., Тошанов И.А., Сулейменов Х.Г. и др. //Стекло и керамика.- 1987.- № 12.- С. 16-17.
4. Шюллер К.Г., Хеннике Г.В., Ковзиридзе З.Ф. //Стекло и керамика.- 1987.- № 11.- С. 25-27.
5. Кайнарский И.С. Процессы технологии огнеупоров.- М.: Недра, 1969.

Получено 21.11.2000 г.

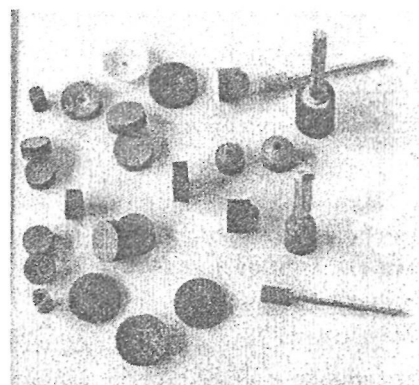


Рис. 3. Разработанные алмазные шлифовальные элементы