

Рис. 5. Дифракционный спектр образца изоляции реакционного объема из диоксида циркония

Таким образом, в работе предложено усовершенствовать ячейку АД путем изоляции ростового объема от системы нагрева. Выбраны материалы для изоляции ростового объема АД при выращивании монокристаллов алмаза методом температурного градиента в области термодинамической стабильности. Показано, что оксид магния в качестве изоляции можно использовать при температуре до 1800–1850 °С.

Литература

1. Пат. 1315778 Великобритания, Int. С 01 В 31/06. Способ синтеза алмазов // А. А. Шульженко, А. Ф. Гетьман. – Оpubл. 12.08.71.
2. Пат. 954019 Канада, Int. С 01 В 31/06. Способ синтеза алмазов // А. А. Шульженко, А. Ф. Гетьман. – Оpubл. 03.09.74.
3. Шульженко А. А., Новиков Н. В., Чипенко Г. В. Особенности роста алмаза в системах на основе магния // Сверхтвердые матер. – 1988. – № 3. – С. 10–11.
4. Марків В.Я., Білявіна Н.Н. Аппаратно-програмний комплекс для дослідження полікристалічних речовин за їх рентгенівськими дифракційними спектрами: Тез. доп. другої міжнар. конф. „Конструкційні та функціональні матеріали” (КФМ’97), 14–16 жовтня 1997 р.,– Львів. – Л., 1997 – С. 260–261.
5. Хансен М., Андерко К. Структуры двойных сплавов: В 2 т. – М.: Металлургиздат, 1962. – Т. 1. – 608 с.

Поступила 25.06.10

УДК 621.921.34-2:622.24.05

Н. Т. Лоладзе, Д. С. Буцхрикидзе, кандидаты технических наук;
М. П. Церодзе, канд. хим. наук; Ю. Г. Дзидзишвили

Грузинский технический университет, г. Тбилиси, Грузия

ВЛИЯНИЕ ГАБИТУСА И МОРФОЛОГИИ АЛМАЗНЫХ КРИСТАЛЛОВ НА РЕЖУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

The influence of the geometrical characteristics such as diamond crystals habitués and morphology on the working capacity of diamond grinding wheels is experimentally revealed. The possibility to synthesis diamond crystals of predetermined geometry and as a result with raised cutting ability is demonstrated.

Износ инструмента зависит прежде всего от качества используемых алмазов и прочности их удержания связкой. Известно, что силы алмазоудержания складываются из сил ме-

ханического захвата металлической матрицей алмазных кристаллов и сил химического взаимодействия и адгезии на контактной поверхности алмаз – металл.

Потенциальные возможности высококлассного крупного алмазного сырья используются на очень низком уровне 10–20 % [1]. В этой связи совершенствование технологии синтеза и повышение качества алмазных кристаллов неразрывно требуют новых инновационных способов существенного повышения КПД их использования в инструменте. Добиться этого можно двумя путями:

разработкой способов получения высококачественных кристаллов с геометрией, облегчающих их механическое закрепление в металлической связке;

снижением в процессе работы удельной нагрузки, приходящейся на единичные алмазные зерна за счет повышения режущей способности закрепленного в связке отдельно взятого кристалла.

Эти вопросы тесно связаны с физикохимией кристаллизации алмазов из растворов углерода в металлах в условиях высоких давления и температуры.

В [2–7] показана связь производительности и стабильности алмазной обработки с такими параметрами режущего слоя круга, как заделка зерен в связке $h_{кр.}$, высота алмазных зерен над уровнем связки h_p , коэффициент относительной критической заделки зерен в связке $\varepsilon_{кр.}$, определяемый свойствами связки ($\varepsilon_{кр.} = h_{кр.} / H_z$, где H_z – размер алмазного зерна круга).

Наиболее существенно на производительность обработки Q влияет безразмерный коэффициент $\eta = X/H$, учитывающий степень затупления зерна ($\eta \rightarrow 0$ – для острого зерна, $\eta \rightarrow 1$ – для затупленного зерна). Здесь X – линейный износ зерна; H – максимальная глубина внедрения обрабатываемого материала в рабочую поверхность круга. В [7] с использованием методики 3D моделирования НДС системы «СТМ–зерно–связка» теоретически показано, что наряду с другими факторами на производительность процесса алмазного шлифования ($V_{стм}$) и удельного износа алмазов существенно влияют такие параметры, как угол при вершине зерна и количество острых зерен.

В настоящей работе сделана попытка экспериментально исследовать влияние некоторых геометрических и морфологических характеристик алмазных кристаллов на технические показатели процесса алмазной обработки с их участием. Геометрия режущей части единичного алмазного зерна в металлической связке инструмента, рассматриваемого в качестве миниатюрного резца, зависит от исходной формы и габитуса кристалла. Придать такому микрорезцу «правильную» геометрию посредством затачивания или каким-то другим методом невозможно.

Высококачественные (высокопрочные) алмазы представляют собой в основном кубооктаэдрические кристаллы с зеркальными гранями, приближающиеся по форме к шару, механический захват и прочное удержание которых в связке практически невозможно. Наиболее приближенными к теоретической модели резца могли бы быть алмазные монокристаллы октаэдрического габитуса, а наличие на их поверхности скульптурировок или шероховатостей облегчило бы их удержание в металлической матрице. Возможность армирования АКМ алмазными монокристаллами октаэдрического габитуса с желательной морфологией сопряжена с решением конкретных задач в области алмазного синтеза, конкретнее – с дальнейшим совершенствованием технологии получения алмазов с заданными свойствами.

Известно, что на габитус кристалла при кристаллизации алмазов в условиях высоких давления (p) и температуры (T) в системе Me–C влияет пересыщение системы. Габитус алмаза определяется скоростями роста различных граней, и кристалл гранится наиболее медленно растущими гранями [8–10]. Тем самым преимущественная огранка растущего алмазного кристалла зависит как от p, T -условий кристаллизации (Δp), так и от физико-химических и поверхностных свойств используемых металлов-растворителей (растворимости графита и различных граней алмаза, угла смачивания алмазных граней, поверхностного натяжения и пр.) [11–14].

В конкретной системе Me–C при неизменных p, T -условиях процесса пересыщение системы будет зависеть также от количества образованных центров кристаллизации в единице объема N/V и размеров образованных растущих кристаллов. Таким образом, влияя каким-либо спо-

собом при неизменных p, T -условиях на интенсивность зародышеобразования в конкретной системе Me–C, можно на определенном уровне изменять условия в кристаллизационной среде и тем самым габитус и морфологию растущих кристаллов. Такую возможность дала разработанная нами методика, позволяющая при неизменных термодинамических условиях процесса в широком диапазоне регулировать интенсивность зародышеобразования. Изменение концентрации центров кристаллизации достигается применением в качестве исходного углеродного сырья композиции из углеграфитовых материалов различной структуры и фазового состава [15–18].

Составы шихт подбирали так, чтобы реализовывалась концентрация центров кристаллизации: $N_1/V = 200$ ц.к./мм³, $N_2/V = 130$ ц.к./мм³ и $N_3/V = 40$ ц.к./мм³ соответственно.

Результаты анализа кинетических данных исследования алмазных кристаллов, полученных как по гомогенной схеме набивки ($p = 4,5$ ГПа, $T = 1520$ К, $\tau = 15$ – 90 с), так и по слоистой схеме снаряжения при продолжительности процесса до 600 с, показали существенное влияние количества центров кристаллизации (к.ц.к.) в ростовой среде на процентное распределение габитусных типов синтезированных алмазов [19, 20]. Проявляется это прежде всего в том, что при некотором уменьшении к.ц.к. и продолжительности $\tau > 15$ с повышается процентное содержание кристаллов октаэдрической формы и соответственно, уменьшается количество кристаллов кубооктаэдрической формы. Более значительное снижение к.ц.к. ($N_3/V = 40$ ц.к./мм³) в процессе кристаллизации способствует формированию кристаллов с характерным строением. Внешний вид наиболее часто встречающихся характерных кристаллов размером более 160 мкм октаэдрического габитуса показаны на рис. 1.

Образование большого количества кристаллов с трехгранной впадиной в центре октаэдрической грани связано преимущественно с ростом приреберных участков. Возможно, появление дендритов обусловлено малыми скоростями роста в специфических условиях насыщенного раствора [9, 21].

Еще более выражено влияние к.ц.к. в кристаллизационном объеме на габитус и морфологию монокристаллов алмаза синтезированных ($p = 4,3$ ГПа, $T = 1470$ К) при продолжительности процесса 600 с. Целенаправленное снижение к.ц.к. в процессе алмазообразования способствует образованию совершенных кристаллов, а также преимущественному развитию граней (111) [22].



Рис. 1. Микрофотография скелетных кристаллов алмаза фракции 250/200 мкм, полученных при концентрации ц.к. $N_3/V = 40$ ц.к./мм³ при $p = 4,5$ ГПа, $T = 1520$ К и $\tau = 90$ с

Подтверждением этого является микрофотография характерного участка спека, полученного при незначительном снижении к.ц.к. (рис. 2).

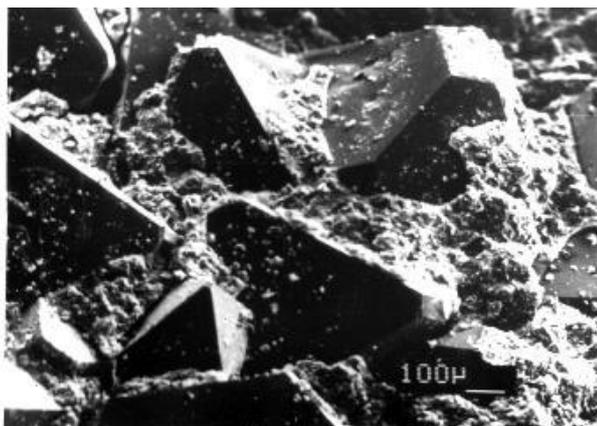


Рис. 2. Микрофотография характерного спека при концентрации ц.к. $N_1/V = 200 \text{ ц.к./мм}^3$ при $p = 4,3 \text{ ГПа}$, $T = 1470 \text{ К}$ и $\tau = 600 \text{ с}$

Большинство алмазов сравнительно крупного размера имеют форму октаэдров с приупленными гранями, поверхность кристаллов сравнительно гладкая без каких-либо заметных скульптурировок, что свидетельствует о наличии в кристаллизационной среде условий для умеренных скоростей роста кристаллов. Необходимо отметить, что при синтезе алмазов с использованием в качестве источника углерода только графита, кристаллы октаэдрической формы размером 0,4–0,6 мм (рис. 2) образуются крайне редко.

Не изменяя термодинамических условий синтеза, при определенных концентрациях к.ц.к. можно создать условия для формирования кристаллов с преимущественным развитием октаэдрических граней (111) (см. рис. 2), а также специфического строения (см. рис. 1). Необходимо подчеркнуть, что содержание кристаллов такого габитуса в режиме изготовления алмазов серийных марок АС15–АС65 с использованием стандартного состава шихты (Gr + Ni + Mn) не превышает 5–15 % общей массы синтезированных алмазов (в зависимости от зернистости), а при изготовлении алмазов высоких марок (например, АС65–АС125) их содержание не превышает 3–5 % общей массы алмазов. В то же время при применении экспериментальных реакционных смесей определенного состава получают алмазы специфической формы и октаэдрического габитуса – порядка 20–65 % общей массы синтезированных алмазов в зависимости от режима синтеза (АС15–АС125).

Результаты анализа геометрии кристаллов, сформированных в специфических условиях синтеза (см. рис. 1) дают основание предположить о повышенной способности таких форм закрепляться в металлической матрице АКМ в условиях его жидкофазного спекания. Необходимо подчеркнуть еще одно обстоятельство. Известно, что прочность алмазных кристаллов является одним из основных факторов, определяющих работоспособность алмазного инструмента. Прочность алмазов, показанных на рис. 1, невысокая в связи со спецификой их формы (полость внутри). Также известно, что в условиях жидкофазного спекания наблюдается заполнение и залечивание дефектных участков, трещин и каверн кристаллов (пустот) расплавом металла. Исходя из полученной формы исследуемых кристаллов предположили, что прочность кристаллов и прочность удержания их связкой существенно повышаются при взаимодействии с расплавом металлической матрицы и заполнении имеющихся пустот под давлением. Кроме того, следовало ожидать повышенную режущую способность алмазов вследствие наличия более острых кромок, участвующих в процессе резания (более острого угла резания).

Высказанные теоретические предположения подтвердились при изучении работоспособности алмазных шлифовальных кругов изготовленных на основе алмазных порошков, которые различались содержанием кристаллов определенных форм. Опытные алмазные порошки были синтезированы на Полтавском алмазном заводе в режиме изготовления алмазов марки АС50. Для синтеза алмазов использовали экспериментальные составы реакционных смесей разработки Грузинского технического университета (ГТУ) – шихта № 1 и шихта № 2 [15–17]. Составы шихты № 1 и № 2 обеспечивали концентрацию к.ц.к. для используемого режима синтеза (p - T - τ) со-

ответственно $N/V = 200$ ц.к./мм³ и 40 ц.к./мм³. В качестве основного источника углерода использовали графит ГМЗ ОСЧ, в качестве металла-растворителя – Ni–Mn. Реакционная смесь содержала незначительное количество неграфитного углеродного материала. В качестве контрольной взяли обычную используемую заводом шихту (Гр + Ni–Mn) (шихта № 0).

Из синтезированных алмазов для испытаний в инструменте выбрали алмазы фракций 125/100 и 250/200. Проанализировали процентное содержание в алмазных порошках определенных габитусных типов (см. таблицу). Полученные данные свидетельствуют о существенном повышении процентного содержания характерных кристаллов октаэдрического габитуса в экспериментальных партиях с увеличением зернистости порошков.

Процентное содержание определенных габитусных типов в алмазных порошках синтезированных из различных составов шихт

Форма кристаллов	Процентное содержание габитусных типов в алмазах фракции					
	125/100			250/200		
	Номер партии			Номер партии		
	№ 0	№ 1	№ 2	№ 0	№ 1	№ 2
Кубы	3	5	2	4	3	2
Кубооктаэдры с незначительными дефектами	47	33	35	44	46	37
Безформенные кристаллы	33	35	31	29	20	19
Осколки	10	12	11	13	10	5
Октаэдры характерных форм	7	15	21	10	21	37

Из опытных партии алмазных порошков в ИСМ НАН Украины были изготовлены чашечные шлифовальные круги на металлической связке М1, 12А2, 125/100, АС50 и М1, 12А2, 250/200, АС50 50%-й концентрации.

Испытания по определению режущей способности опытных кругов были проведены в ГТУ на специальном стенде методом низкотемпературного прецизионного шлифования (НПШ), разработанным в ГТУ и широко применяемым для обработки труднообрабатываемых сверхтвердых материалов [23]. В качестве обрабатываемого материала использовали сверхтвердый композиционный материал на основе кубического нитрида бора – композит 0.5, а также режущую керамику ВОК-60. Шлифование проводили при следующем режиме обработки: скорость резания $V = 6$ м/с, давление прижима круга $p = 600–700$ кПа. Режущую способность кругов определяли по линейной скорости съема материала Q мкм/мин; Экспериментальные данные показаны на рис. 3.

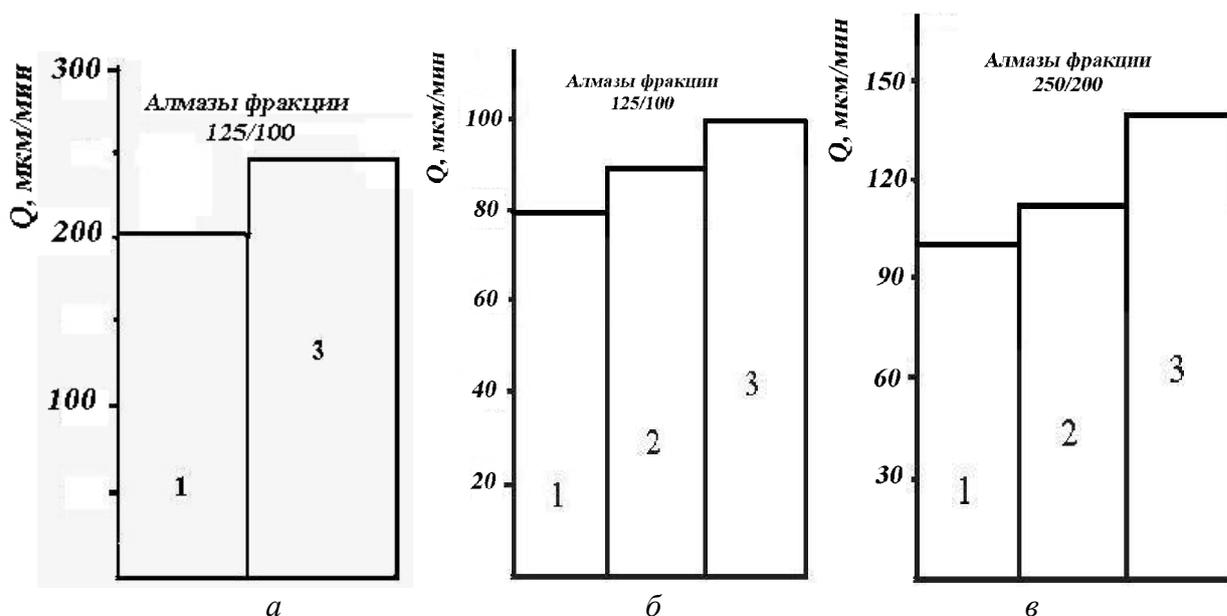


Рис.3. Зависимость режущей способности шлифовальных кругов от габитусного состава алмазных порошков : а – обрабатываемый материал – режущая керамика ВОК-60 (1 – контрольная шихта № 0; 3 – шихта ГТУ № 2); б и в – обрабатываемый материал Композит – 0.5 (1 – контрольная шихта № 0; 2 – шихта ГТУ №1; 3 – шихта ГТУ №2)

Результаты испытаний показали, что в условиях обработки методом НПШ режущая способность кругов с повышенной концентрацией алмазов и характерной морфологией (октаэдры, октаэдры характерного габитуса) при обработке сверхтвердых материалов – композитов 0.5 и ВОК-60 – значительно повышена. С увеличением зернистости и тем самым концентрации алмазов характерной формы (см. таблицу) режущая способность повышается. Производительность кругов повышается на 25–30 %.

В рамках испытаний режущей способности кругов заметных отличии по износу не наблюдался. Установление стойкостных характеристик алмазного инструмента требует больше времени и большого объема статистических данных. Полученные на этом этапе результаты свидетельствуют о перспективности работ в этом направлении.

Литература

1. Лолодзе Т. Н., Бокучава Г. Б. Износ алмазов и алмазных кругов. –М.: Машиностроение, 1967 – 112 с.
2. Гуцаленко Ю. Г. Аналитические посылки и технологические возможности операций устойчивого шлифования алмазными кругами на металлических связках // Резание и инструмент в технологических системах. – 2005. – **69**. –С. 43–55.
3. Козакова Н. В. Методика определения фактической площади контакта рабочей поверхности круга с обрабатываемым сверхтвердым материалом // Резание и инструмент в технологических системах. – 2008. – **75**. – С. 167–176.
4. Грабченко А. И. Расширение технологических возможностей алмазного шлифования – Харьков: Выща шк., 1985. – 184 с.
5. Федорович В. А.,Козакова Н. В. Влияние фактической площади контакта в системе “РПК-СТМ” на эффективность шлифования // Високі технологи в машинобудуванні. –2004. – № 2(9). – С. 210–220.
6. Козакова Н. В.,Федорович В. А. Влияние прочностных свойств элементов системы “круг-деталь” на оптимальную концентрацию алмазных зерен //Резание и инструмент в технологических системах – 2003 - 64 – С.133-140.

7. Федорович В. А., Наконечный Н. Ф., Аносов В. И. Теоретический анализ величины удельного расхода и износа алмазных зерен // Резание и инструмент в технологических системах. – 2006. – 70. – С. 472–477.
8. Безруков Г. Н., Бутузов В. П., Лаптев В. А. Кинетика роста искусственных кристаллов алмаза различных габитусных типов // ДАН СССР. – 1971. – 200. , № 5. –С. 1088–1091.
9. Безруков Г. Н., Бутузов В. П., Самойлович М. И Синтетический алмаз. – М.: Недра, 1976. – 118 с.
10. Перекристаллизация и перенос в системе металл-углерод / Ю. А. Литвин, Г. Н. Безруков, Г. П. Капранов, Д. Б. Чернов // Экспериментальные исследования минералообразования в сухих окисных и силикатных системах. – М.: Наука, 1972. – С. 30–36.
11. Найдич Ю. В., Перевертайло В. М., Логинова О. Б. Влияние степени смачиваемости граней алмаза металлическими расплавами на форму его роста // Сверхтвердые матер. – 1989. – № 6. - С. 3–6.
12. Анизотропия смачиваемости и форма кристаллов графита и алмаза, кристаллизующихся в системе Ni-Cr-Sn-C / В. М. Перевертайло, Л. Ю. Островская, О. Б. Логинова, В. З. Туркевич // Сверхтвердые материалы. – 1998. – № 2. – С. 22–29.
13. Смачиваемость разных граней алмаза металлами, химически инертными к углероду / Ю. В. Найдич, В. М. Перевертайло, О. Б. Логинова, Н. Д. Полянская // Сверхтвердые матер. – 1985. – № 1. – С. 3–6.
14. Лоладзе Н. Т., Церодзе М. П. О влиянии поверхностных свойств металлического расплава на процесс алмазообразования в системе Me-C // Сверхтвердые матер. – 2010. - № 2. – С. 60 – 67.
15. А. с. № 1120631 СССР. / В. П. Поляков, Н. Т. Лоладзе, Дж. С. Иосебидзе и др. – Оpubл. 22.06.84.
16. А. с. № 1127231 СССР. Композиция для получения алмазов / Н. Т. Лоладзе, В. П. Поляков, И. С. Олейник и др. – Оpubл. 01.08.84.
17. А. с. № 222025 СССР. Шихта для получения алмазов / Н. Т. Лоладзе, В. П. Поляков, Дж. С. Иосебидзе и др. – Оpubл. 28.06.85.
18. Влияние аморфного углерода на зародышеобразование и рост кристаллов алмаза / В. П. Елютин, В. П. Поляков, Д. В. Федосеев, Н. Т. Лоладзе // ДАН СССР. – 1987. – 297, № 4. – С. 854–857.
19. О кристаллизации алмазов различного габитуса в системе Me-C / Н. Т. Лоладзе, М. П. Церодзе и др. // Информационные технологии и Управления. – 2008. – № 8. – С. 95–101.
20. Лоладзе Н. Т., Церодзе М. П. Физикохимия и технология синтеза алмазов в системе Me-C. – Тбилиси: Техн.Университет, 2009. – 278 с.
21. Орлов Ю. Л. Минералогия алмаза. – М.: Недра, 1973. –267 с.
22. Лоладзе Н. Т. Алмазы и другие углеродные материалы. – Тбилиси: Техн. Университет, 2009. – 330 с.
23. А. с. №1 605456 СССР. Устройство для абразивной обработки плоских поверхностей / Т. Н. Лоладзе, Б. И. Батиашвили, Д. С. Буцхрикидзе, Г. Л. Мамулашвили. – Оpubл.17.10.90.

Поступила 31.05.10