

УДК 536.483:621.93.025.7  
DOI: 10.36979/1694-500X-2022-22-4-3-7

### КРИОГЕННАЯ ОБРАБОТКА АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*А.К. Арыков, К. Хайдаров*

*Аннотация.* Исследуются образцы композиционных алмазосодержащих материалов различного состава, обработанные при низкой температуре в жидком азоте и высокой температуре на высокочастотном генераторе. Показано, что после обработки повышается микротвердость и твердость опытных образцов, при этом не исключено увеличение механических напряжений, хрупкости, появления трещин и разрывов. Экспериментальные результаты свидетельствуют о повышении в  $1,6\pm 2,0$  раза микротвердости образцов алмазосодержащих композиционных материалов инструментального назначения после обработки жидким азотом. После отжига образцов на высокочастотном генераторе, микротвердость увеличивается в  $1,2\pm 1,4$  раза по сравнению с исходными образцами. Установлено, что повышенное значение микротвердости образцов сохраняется в течение десяти месяцев.

*Ключевые слова:* синтетический алмаз; металлическая связка; композит; матрица; высокочастотный генератор; твердость; микротвердость; жидкий азот.

---

### АЛМАЗ КОШУЛГАН КОМПОЗИЦИЯЛЫК МАТЕРИАЛДАРДЫ КРИОГЕН МЕНЕН ИШТЕТҮҮ

*А.К. Арыков, К. Хайдаров*

*Аннотация.* Төмөнкү температурада суюк азот менен жана жогорку жыштыктагы генератордо жогорку температурада иштетилген ар кандай курамдагы алмаз камтылган композиттик материалдардын үлгүлөрү изилденген. Криогендик иштетүүдөн кийин үлгүлөрдүн микро катуулугу жана катуулугу жогорулай тургандыгы, ал эми механикалык чыңалуулардын, морттуктун көбөйүшү, жаракалар жана жарылуулардын пайда болушу жокко чыгарылбай тургандыгы көрсөтүлгөн. Эксперименттик натыйжалар суюк азот менен тазалоодон кийин инструменталдык максатта алмаз камтыган композиттик материалдардын үлгүлөрүнүн микрокатуулугунун  $1,6\pm 2,0$  эсеге жогорулагандыгын көрсөтүп турат. Үлгүлөрдү жогорку жыштыктагы генератордо күйгүзгөндөн кийин микрокатуулугу баштапкы үлгүлөргө салыштырмалуу  $1,2\pm 1,4$  эсеге жогорулайт. Үлгүлөрдүн микрокатуулугунун жогорулатылган мааниси он ай бою сактала тургандыгы аныкталды.

*Түйүндүү сөздөр:* жасалма алмаз; металл кошулмалары; композит; матрица; жогорку жыштыктагы генератор; катуулук; микро катуулук; суюк азот.

---

### CRYOGENIC PROCESSING OF DIAMOND COMPOSITES

*A.K. Arykov, K. Khaydarov*

*Abstract.* Composite diamond-containing materials of various compounds treated at low temperatures with liquid nitrogen and high temperatures on a high-frequency generator are investigated. Cryogenic processing increases the microhardness and hardness of prototypes, while mechanical stresses, brittleness, cracks, and ruptures can increase. The experimental results indicate an increase in the microhardness of diamond-containing materials after treatment with liquid nitrogen by a factor of  $1.6\pm 2.0$ , and after annealing on a high-frequency generator, an increase in microhardness is achieved to  $1.2\pm 1.4$  times compared to the microhardness of the initial materials. The dynamics of the increased values of microhardness are preserved.

*Keywords:* synthetic diamond; metal bond; composite; matrix; high-frequency generator; hardness; microhardness; liquid nitrogen.

**Введение.** Алмазосодержащие композиционные материалы получили широкое распространение благодаря уникальным физико-механическим свойствам алмазов, являющихся основным режущим компонентом этих материалов.

Эффективное использование сравнительно недорогих алмазных композитов при резании и обработке природного камня вполне может заменить дорогостоящие алмазные порошки и их металлические связки. Одной из таких возможностей является термическая криогенная обработка породоразрушающих алмазных инструментов и поликристаллических алмазных образований типа карбонадо, используемых в ряде алмазных инструментов [1–4].

Твердость и микротвердость матрицы алмазосодержащих материалов являются основной характеристикой, определяющей качество и работоспособность алмазосодержащих композитов. В работах [5, 6] приведены результаты исследований по криогенной обработке алмазных инструментов.

В данной работе рассмотрено влияние низкотемпературной обработки на твердость и микротвердость опытных образцов.

**Подготовка, изготовление образцов и методы экспериментов.** Испытывались образцы без алмазных зерен, образцы с алмазными зёрнами и обработанные жидким азотом после воздействия высокой температуры на высокочастотном генераторе. Образцы были изготовлены из алмазосодержащих композиционных материалов трапециадальной формы на металлических связках для отрезных кругов [7].

Были изготовлены образцы размером  $24 \times 7,5/6,5 \times 7$  мм для алмазных пил диаметром от 800 мм и выше. Для изготовления отрезных и подрезных кругов, используемых при резке гранита, мрамора и других природных и строительных материалов с применением охлаждающей жидкости, отобранные образцы крепили с помощью серебряного припоя ПСР-45 на камнерезную дисковую пилу. Поскольку плавление серебра происходит при температуре 923–973К, это позволяет использовать композиционные алмазосодержащие материалы на основе синтетических алмазов.

Твердость и микротвердость опытных образцов измеряли на приборах ТП-Р7-1 и ПМТ-3. При сборке пуансона для горячего прессования, в него помещали «свидетеля», то есть брикет без алмазов, помимо алмазоносных брикетов.

Для определения структуры образцов проводили металлографические исследования. С помощью травления выявляли структуру поверхности полированного образца. Травлению подвергали полированную поверхность образца. Травление производили щелочью, раствором кислот, солей и в специальных реактивах [8]. Образец погружали в холодный травитель. Перед травлением активизировали поверхности образцов, применяя кратковременное полирование и промывание спиртом. Многократно полировали поверхности опытных образцов для выявления их структуры. Экспериментальные результаты измерения твердости и микротвердости опытных образцов показывают, что эти параметры больше по краю, чем у середины сегмента, что позволяет увеличивать эффективность использования алмазного сегментного инструмента [7].

Для криогенной обработки применяли жидкий азот по ГОСТ 92193–74 с температурой кипения 77,4К при атмосферном давлении и плотностью 808 кг/см<sup>3</sup>.

Низкотемпературную обработку осуществляли путем погружения образцов в жидкий азот, а затем подвергали высокотемпературному воздействию на высокочастотном генераторе ВЧГ-1-25/0,44-УЧ. Сила тока генератора 45А, мощность – 25 кВт, частота – 0,44 МГц.

**Экспериментальные результаты и их обсуждение.** Разработана серия металлических связок для алмазосодержащих композиционных материалов, предназначенных для резки твердых пород природного камня. В состав связки алмазных сегментов входят следующие металлические порошки: Fe, Ni, Cu, Sn, ВК8 [9].

Результаты измерений микротвердости опытных сегментов до и после обработки жидким азотом и после воздействия высокочастотным генератором с использованием разных вариантов «свидетеля», без алмазных зерен и алмазосодержащих образцов, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Микротвердость и твердость образцов до и после обработки жидким азотом и после ВЧГ

Наименование образца	Микротвердость, Нц, ГПа			Твердость, HRC
	Исходный обр.	После обр. жид. азотом	После ВЧГ	
Вариант 1 «свидетель»				
№ 1	3,30 ± 0,06	6,45 ± 0,27	4,29 ± 0,350	31,7 ± 2,21
№ 2	3,11 ± 0,095	6,49 ± 0,21	4,31 ± 0,485	30,4 ± 2,15
Вариант 2 «свидетель»				
№ 1	2,98 ± 0,4	4,78 ± 0,05	3,48 ± 0,275	25,9 ± 1,75
№ 2	2,91 ± 0,43	4,87 ± 0,1	3,50 ± 0,285	27,8 ± 1,82
Алмазосодержащий образец	4,58 ± 0,52	7,59 ± 0,93	6,15 ± 0,75	28,9 ± 1,98

Таблица 2 – Реактивы для выявления микроструктуры опытных образцов

Материал	Состав реактива	Способ травления
Опытный образец	4 мл азотной кислоты, 96 мл медицинский спирт	Травить в течение 2–5 с

Из данных таблицы 1 видно, что после обработки образцов повышается их микротвердость и твердость. При температуре 77,4К происходит закалка сегментов, повышается микротвердость за счет структурных и текстурных превращений, что является положительным эффектом. Однако при этом увеличивается хрупкость инструмента в результате увеличения плотности линейных (дислокаций) и точечных дефектов. С целью уменьшения этих нежелательных явлений проводился отжиг образцов, который устраняет трещины и разрывы, что позволяет перевести образцы после криогенной обработки в равновесное состояние. Использование алмазосодержащих композиционных материалов с упрочнением матрицы позволяет повысить адгезионные свойства зерен алмазов и их металлические связки, что приводит к улучшению их взаимного сцепления. При распиловке природных камней в целом повышается эффективность алмазных сегментов.

Результаты экспериментальных исследований показывают повышение в 1,6÷2,0 раза микротвердости образцов композиционных алмазосодержащих материалов после низкотемпературной обработки, а после отжига микротвердость увеличивается в 1,2÷1,4 раза по сравнению с исходными образцами.

В таблице 2 приведены реактивы, которые использовали для выявления структуры опытных образцов.

На рисунке 1 показаны границы светлых и темных пятен образца.

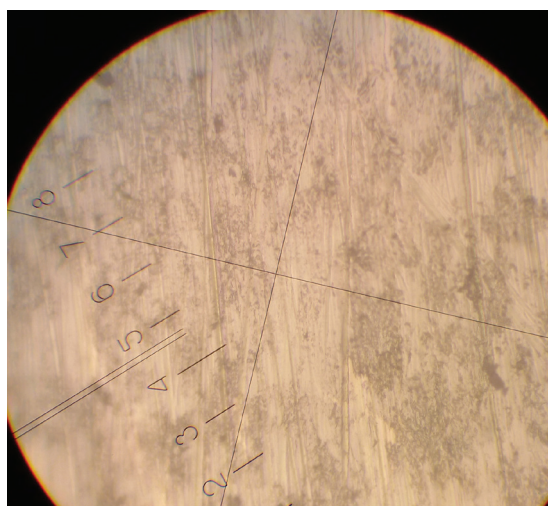


Рисунок 1 – Вид образца после травления

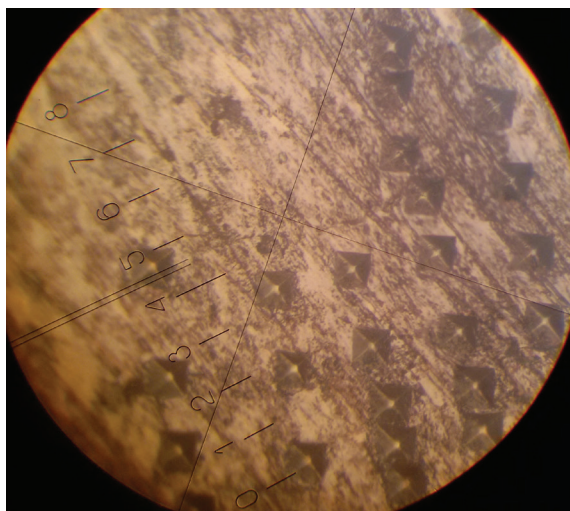


Рисунок 2 – Нанесенные отпечатки правильной четырехгранной алмазной пирамиды с углом при вершине  $136^\circ$  при нагрузке  $P = 200$  г

Таблица 3 – Микротвердость опытных образцов после воздействия различных внешних сред и ее изменение в течение десяти месяцев

Микротвердость, ГПа	Воздействие различных внешних сред на образцы		Наименование опытных образцов				Изменение с течением времени
			Вариант 1		Вариант 2		
			№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	
	До обр. ЖА		3,30	3,11	2,98	2,91	02.2019
	После обр. ЖА		6,45	6,49	4,78	4,87	03.2019
	После ВЧГ		4,29	4,31	3,48	3,50	04.2019
	До травления		4,09	3,77	3,22	3,14	05.2019
	После травления	светлое	4,44	4,23	4,00	3,88	09.2019
		темное	3,74	3,32	2,50	2,4	
	После обр. ЖА	светлое	6,10	5,36	5,25	4,50	11.2019
		темное	4,60	4,13	3,54	3,4	

После завершения травления образец полностью просушили для дальнейшего исследования на оптическом микроскопе ПМТ-3. На рисунке 2 показаны поверхности образца с выявленной травлением структурой и нанесенными отпечатками отдельных составляющих металлографического образца.

В таблице 3 представлены результаты металлографического анализа образцов с выявленной травлением структурой и нанесенными отпечатками микротвердости после воздействия различных внешних сред: жидкий азот, высокочастотный генератор и химическое травление. В этой же таблице показано изменение микротвердости образцов с течением времени с момента обработки указанными внешними воздействиями.

Результаты измерения микротвердости исследованных образцов показывают, что эти параметры у варианта 1 больше, чем у варианта 2, тем самым отмечено увеличение эффективности использования алмазосодержащего композита.

Экспериментальные результаты, приведенные в таблице 3, показывают, что при комнатной температуре опытные образцы сохраняют в течение определенного времени повышенное значение микротвердости.

Данные измерения микро- и макротвердости различных образцов показали, что алмазосодержащие композиционные материалы при спекании с последующим горячим допрессованием приобретают одинаковые свойства в различных направлениях и по объему.

**Выводы.** Установлено увеличение микротвердости различных фаз алмазосодержащих композиционных материалов инструментального назначения после обработки жидким азотом. Отмечено, что повышенное значение микротвердости образцов сохраняется в течение десяти месяцев.

Результаты, полученные при использовании резкого охлаждения алмазосодержащих композиционных материалов в жидком азоте, позволяют сделать вывод об улучшении их эксплуатационных характеристик при применении в механизмах для изготовления облицовочных плит из природного камня.

Поступила: 28.01.22; рецензирована: 10.02.22; принята: 15.02.22.

### *Литература*

1. Способ термической обработки инструмента: А.с. № 485161 СССР / Е.С. Жмудь // БИ. 1975. № 35.
2. Способ упрочнения твёрдосплавного и алмазного инструмента для бурения горных пород: Патент РФ, № 2101456 / С.Я. Рябчиков, А.П. Мамонтов // БИ. 1998. № 1.
3. Способ повышения износостойкости металлорежущего инструмента: Патент РФ, № 2168393 / С.Я. Рябчиков, А.П. Мамонтов. 10.06.2001.
4. Кожоголов О.Ч. Изучение влияния низких температур на прочностные свойства поликристаллов синтетического алмаза / О.Ч. Кожоголов, Б.К. Хайдаров // Вестник КНУ им. Ж. Баласагына. «Физика и физическое образование: достижения и перспективы развития». Сер. 3. Вып. 3. 2006. С. 24–28.
5. Хайдаров К. Обработка жидким азотом КАМИН / К. Хайдаров, А.К. Арыков, Б.К. Хайдаров // Материаловедение. 2014. № 1 (4). С. 31–35.
6. Хайдаров К. Исследование композиционных алмазосодержащих материалов после криогенной обработки / К. Хайдаров, А.К. Арыков, В.П. Макаров, Б.К. Хайдаров // Физика. 2018. № 2. С. 49–54.
7. Хайдаров К. Послойноупрочненный композиционный алмазосодержащий материал для строительной индустрии / К. Хайдаров, А.К. Арыков // Вестник КНУ. Вып. 3: матер. респуб. науч. конф. Бишкек, 2005. С. 186–188.
8. Металлографические реактивы: справ. изд. / В.С. Коваленко. 3-е изд. М.: Металлургия, 1981. 120 с.
9. Хайдаров К. Изучение микро- и макротвердости КАМИН / К. Хайдаров, А.К. Арыков // Сб. докл. Иссык-Кульской межд. летней школы по радиационной физике SCORPh-2013. Конф., посв. 80-летию чл.-корр. НАН КР А.А. Алыбакова. Бишкек, 5–10 авг. 2013 г. Бишкек, 2013. С. 200–205.