

УДК 621.921.34-419.004.12:536.4

А. А. Шульженко¹, член-кор. НАН Украины; А. В. Ножкина², д-р техн. наук;
Р. К. Богданов¹, А. П. Загора¹, В. Г. Гаргин¹, кандидаты технических наук;
Н. А. Русинова¹

¹Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев,
²ВНИИАЛМАЗ, г. Москва, Россия

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ И ТЕРМОСТАБИЛЬНОСТЬ АЛМАЗНЫХ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Thermostability and wear resistance of inserts from polycrystalline composite materials for rock destruction drilling tools have been studied.

Введение

Необходимость создания новых алмазных поликристаллических композиционных материалов с повышенными физико-механическими свойствами, например, износостойкостью, термостабильностью и прочностью, требует дальнейшего изучения процесса спекания, а также использования различных активирующих добавок и порошков алмаза повышенного качества, или подвергшихся различным видам предварительной обработки [1].

В настоящее время для оснащения бурового инструмента (долот, коронок, резцов) используют алмазные твердосплавные пластины, которые состоят из поликристаллического алмазного слоя и подложки из твердого сплава, выполненных как единое целое, а также алмазный композиционный термостабильный материал (АКТМ)[2 – 6].

Результаты исследований по созданию алмазного поликристаллического композиционного материала (АПКМ) повышенной прочности (в качестве активирующей добавки использовали смесь кобальта с никелем) диаметром 4,5 мм и высотой 5 мм без твердосплавной подложки для оснащения коронок, предназначенных для бурения пород осадочного типа, приведены в [7].

Цель настоящей работы – исследовать износостойкость и термостабильность АКТМ и АПКМ, спеченных при высоком давлении и температуре в системе алмаз-Si; алмаз-Ni-Co-WC с использованием микропорошка синтетического и природного алмаза, а также их смеси.

Методика эксперимента

Образцы спекали в аппарате высокого давления типа тороид с центральным углублением диаметром 30 мм. Для изготовления образцов АПКМ были спрессованы нагреватели из графита диаметром 18 мм и высотой 6 мм с цилиндрическим гнездом диаметром 5,2 мм. В цилиндрические гнезда помещали экраны из ниобия толщиной 0,1 мм (рис. 1), которые заполняли шихтой, содержащей порошки природного и синтетического алмаза зернистостью 40/28, и их смеси, порошки кобальта, никеля и карбида вольфрама. Материал АКТМ спекали в той же ячейке высокого давления, однако без использования экрана из ниобия.

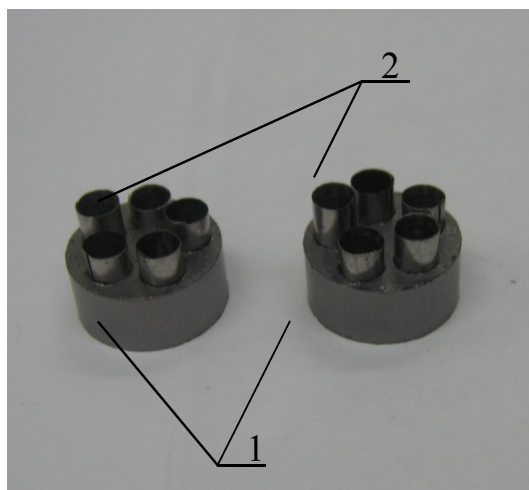


Рис. 1. Ячейка высокого давления:
1 - графитовая матрица; 2 - экран из ниобия.

Износостойкость исследовали при точении на токарно-винторезном станке модели ДИП 200 торезского песчаника VIII–IX категории по буримости, который характеризуется стабильными свойствами, высокой твердостью и относительно высокой абразивностью. При этом использовалась специальная оснастка для закрепления керна горной породы в виде разрезного цилиндра и стакана, а также специального приспособления для закрепления исследуемого образца в резцедержателе на основе сверлильного патрона.

Исследуемый образец закрепляли в патроне специального приспособления и подводили к поверхности керна горной породы, где и осуществлялся процесс врезания и дальнейшего точения.

Для измерения износа породоразрушающих вставок при проведении опытов использовали электронные весы типа Sartorius.

Параметры режима точения:

- частота вращения – 355 мин⁻¹;
- глубина внедрения – 1,0 мм.

Фиксируемые параметры:

- углубление при врезании с точностью до 0,05 мм;
- время точения с точностью до 1 с.

Интенсивность изнашивания I определяется как отношение износа вставки Δm к величине проходки на вставку L (м):

$$I = \frac{\Delta m}{L} \text{ [г/м]}; L = \frac{\pi D n}{60} t; (D - \text{диаметр керна, м; } n - \text{частота вращения шпинделя станка, мин}^{-1}; t - \text{время точения, мин}).$$

Испытания проводили в два этапа. На первом этапе испытывались образцы в исходном состоянии, на втором – после термической обработки в муфельной печи в среде водорода при температуре 900 °С, время обработки - 5 мин.

Упругие характеристики (модуль Юнга – E , модуль сдвига – G , модуль всестороннего сжатия – B и коэффициент Пуансона – η) спеченных поликристаллических образцов из синтетического и природного алмаза и их смеси, определялись динамическим методом.

Экспериментальная часть

Для формирования поликристаллической структуры на основе алмаза, для которой характерен сплошной каркас из алмазных частиц, первоочередным является формирование связи алмаз–алмаз. Основная роль в этом процессе принадлежит пластической деформации частиц под воздействием высокого давления и температуры.

Температура начала пластической деформации микропорошков алмаза при $P \sim 7$ ГПа составляет 1230 К. При спекании алмазных порошков давление в точках контактов составляет 130 ГПа [1]. В порах между частицами алмаза, где давление при спекании значительно ниже, образуется графит. При использовании активирующих процесс спекания добавок, например кремния, образовавшийся в поре графит становится составной частью образовавшегося карбида кремния. Если в качестве активирующей добавки использовать кобальт, образовавшийся в поре графит превратится в алмаз. При использовании в качестве активирующей процесс спекания добавки кремния термостабильность полученного материала (АКТМ) составит ~ 1500 К [5 - 7]. Термостабильность алмазных поликристаллических материалов, полученных с использованием активирующих добавок кобальта или никеля, например алмазно-твердосплавных пластин (АТП), составляет ~ 1000 К. Это объясняется тем, что при температуре выше 1000 К вследствие диффузионного взаимодействия алмазных частиц и кобальта резко снижается уровень физико-механических свойств алмазного слоя.

Для повышения термостабильности алмазного слоя АТП его предварительно пропитали кремнием и кобальтом [8]. Испытания пластин после нагревания до температуры 1300 К показали, что их износ не изменился. При этом износостойкость пластин была несколько ниже, чем износостойкость пластин, полученных методом пропитки алмазного слоя только одним кобальтом.

Возможно, термостабильность алмазного слоя зависит также от содержания в нем кобальта и никеля. В связи с этим предположением количество активирующей добавки (Co-Ni) было уменьшено практически в два раза по сравнению с содержанием кобальта в алмазном слое алмазно-твердосплавной пластины.

Применение микропорошка природного алмаза для получения поликристаллических композиционных материалов обычно способствует повышению термостабильности полученного материала, так как природные алмазы, в отличие от синтетических, не содержат металлических включений, которые при высоких температурах взаимодействуют с алмазом и снижают их эксплуатационные свойства.

Упругие характеристики АКТМ и АПКМ приведены в табл.1.

Таблица 1. Упругие характеристики АКТМ и АПКМ

Поликристаллический композит	Е, ГПа	σ, ГПа	В, ГПа	η
АКТМ (А) на основе микропорошка синтетического алмаза, пропитанного кремнием	886*	396	386	0,118
	933	419	400	0,112
	918	412	396	0,113
АПКМ (В) на основе микропорошка синтетического алмаза + + (Ni-Co-WC)	880	401	363	0,097
	653	305	253	0,075
	636	295	249	0,070
АПКМ (С) на основе микропорошка природного алмаза + + (Ni-Co-WC)	900	399	546	0,281
	740	294	511	0,259
	636	250	403	0,128
АПКМ (D) на основе смеси микропорошков природного и синтетического алмаза + + (Ni-Co-WC)	773	303	577	0,277
	726	286	521	0,268
	707	278	512	0,270

* Приведены упругие характеристики трех образцов.

Материал АПКМ (С) обладает такими же высокими упругими свойствами, как и АКТМ (А). Большой разброс данных упругих свойств наблюдается как для материала АПКМ (С), так и для материала АПКМ (В). Используя в качестве алмазного порошка смесь синтетического и природного алмаза, при получении материала АПКМ (D) была достигнута стабильность упругих свойств этого материала (см. табл.1).

Таблица 2. Сравнительные характеристики износостойкости поликристаллических композитов

Образец поликристаллического композита	Масса образца в виде вставки, мг		Износ Δm, мг	Скорость изнашивания, мг/с	Интенсивность изнашивания, мг/м
	начальная	конечная			
До термообработки					
А	210	208	2	0,0063	0,0048
В	181	175	6	0,0187	0,0144
С	220	219	1	0,0031	0,0024
Д	212	209	3	0,0094	0,0072
После термообработки					
А	206	204	2	0,0063	0,0048
В	171	154	17	0,0219	0,0168
С	184	182	2	0,0063	0,0048
Д	205	203	2	0,0063	0,0048

Сравнительные испытания образцов А, В, С и D, в виде вставок проводили при следующих параметрах: скорости резания - 1,3 м/с, путь точения - 416 м, время точения - 320 с.

Как следует из данных табл.2, термообработка вставок при температуре 900° С не существенно повлияла на износостойкость образцов А, С и D, при этом износ образца В увеличился в 2,83 раза.

На основании результатов приходим к выводу, что наиболее высокой термостабильностью и износостойкостью обладают поликристаллические композиты на основе микропорошка синтетического алмаза, пропитанного кремнием, АКТМ (А), природного алмаза + (Ni-Co-WC), АПКМ (С) и смеси микропорошков природного и синтетического алмазов + (Ni-Co-WC), АПКМ (D) [9].

Наиболее низкой термостабильностью и наиболее высоким износом обладает АПКМ (В), что объясняется наличием металлических включений в исходном микропорошке синтетического алмаза.

Особо следует отметить тот факт, что при точении образцы АПКМ (С) накалялись до темнооранжевого цвета, что соответствует температуре нагревания в диапазоне 950 - 1050° С. С другими образцами такого явления не наблюдалось, что свидетельствует о том, что образцы АПКМ (А, В, D) нагревались значительно меньше. Такой режим работы объясняется тем, что материал (С) содержит микропорошок природного алмаза, который характеризуется низкой удельной поверхностью (0,172 м²/г), в то время как синтетический алмаз более высокой удельной поверхностью (0,422 м²/г) [9].

Как установлено ранее, при циклическом нагружении поликристаллический композит на основе микропорошка синтетического алмаза АПКМ (В) долговечнее, чем поликристаллический композит на основе микропорошка природного алмаза АПКМ (С) [9]. На основе микропорошка синтетического алмаза АПКМ (В) были изготовлены режущие элементы с

твердосплавной оболочкой, которыми были оснащены разработанные нами опытные коронки для бурения пород осадочного комплекса снарядом с гидротранспортом керна КГК-100 (рис. 2). В настоящее время коронки направлены на производственные испытания.

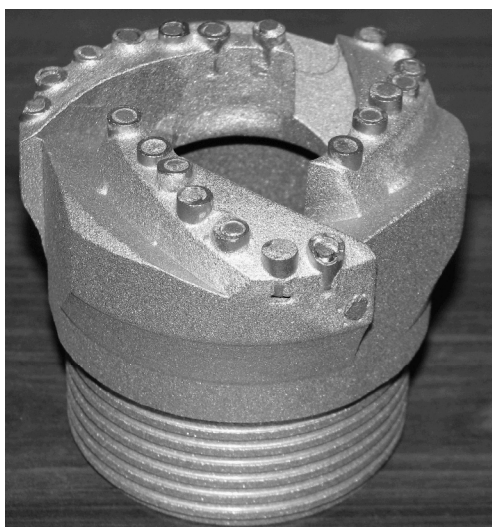


Рис. 2. Опытная коронка для бурения пород осадочного комплекса снарядом с гидротранспортом керна КГК-100.

Выводы

- Исследованы термостабильность и износостойкость вставок поликристаллических композиционных материалов, предназначенных для оснащения породоразрушающего бурового инструмента.
- Упругие характеристики полученных поликристаллических композиционных материалов, спеченных из синтетических, природных и смеси природного и синтетического алмазов в присутствии активирующих добавок кремния и смеси кобальта с никелем наиболее высокие у материала АКТМ (А), при этом наиболее стабильными упругими свойствами обладает материал АПКМ (D).
- Износостойкость и термостабильность наиболее низкие у образцов композиционных материалов АПКМ (В).
- Представленные композиционные материалы АКТМ (А), АПКМ (В), АПКМ (С) и АПКМ (D) различаются физико-механическими характеристиками (прочностью, долговечностью при циклических нагружениях, термостабильностью, износостойкостью), что позволяет применять их для оснащения бурового инструмента, предназначенного для различных работ. Наиболее перспективным поликристаллическим композиционным материалом из перечисленных является поликристаллический композит на основе микропорошков природно-

го и синтетического алмазов АПКМ (D) [10], который имеет такие же свойства, как композиты АПКМ (B) и АПКМ (C).

Литература

1. Сверхтвердые материалы. Получение и применение. Моногр.: В 6 т. / Под общ. ред. Н. В. Новикова. – К.: Изд-во ИСМ им. В. Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАН Украины, 2003. - Т. 1. – С. 260-265.
2. Бочковский А. М. Алмазные комбинированные вставки для бурового инструмента // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: Изд-во ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2005. – Вып. 8. – С. 75-77.
3. Богданов Р. К., Дутка В. А., Загора. К вопросу оснащения твердыми материалами инструмента для бурения скважин в породах средней твердости // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: Изд-во ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2005. – Вып. 8. – С. 78-82.
4. Алмазный поликристаллический материал для оснащения бурового инструмента / А.А. Шульженко, Р.К. Богданов, В.Г. Гаргин и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: Изд-во ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2007. – Вып. 10. – С. 189-196.
5. Воронін Г. О., Осіпов О. С., Шульженко О. О. Композит на основі алмазу та карбїду кремнію, призначений для оснащення бурового інструменту // Минералог. журн. – 1995. - № 6. – С. 90-95.
6. Патент № 34174 А Україна, МПК⁶ С 22С 26/00. Спосіб одержання композиційного матеріалу на основі алмазу / М. В. Новіков, О. О. Шульженко, В. Г. Гаргін, О. О. Бочечка. – Опубл. 15.02.01, Бюл. № 1.
7. Применение алмазных нанопорошков для увеличения прочности композита на основе алмаза и карбида кремния / А.А. Шульженко, В.Г. Гаргин, А.А. Бочечка и др. // Сверхтвердые материалы. – 2000. - № 3. – С. 3-15.
8. The formation of a diamond layer on a carbide substrate during diamond interaction with Si, WC and Co / A. V. Nozhkina, A. A. Shulzhenko, V. G. Gargin and A. A. Bochechka // High Press. Res. – 2000. – 18. – P. 325-330.
9. Сравнительные физико-механические характеристики синтетического и природного алмаза и поликристаллических композиционных материалов на их основе / А. А. Шульженко, А. В. Ножкина, В. Г. Гаргин и др. // Сверхтвердые материалы. – 2008. - № 5. – С. 3-18.
10. Рішення про видачу деклараційного патенту на корисну модель за заявкою № 14660 від 25.12.07. Шульженко О. О., Гаргін В. Г., Русінова Н. О., Богданов Р. К., Загора А. П. Спосіб спікання композиційного матеріалу на основі порошоків алмазу.

Поступила 23.05.08