

УДК 621.921.34 – 419:622.23.05

А. А. Шульженко, чл.-корр. НАН Украины;
В. Г. Гаргин, канд. техн. наук; **Н. А. Русинова**, инженер.

*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины,
г. Киев, Украина*

АЛМАЗНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ ТЕРМОСТОЙКИЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ОСНАЩЕНИЯ БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА

The results of researches of the diamond thermostable composite material creation with heightened strength (\varnothing from 1mm to 31mm) are considered. The mechanical characteristics of material and nomenclature of product are given.

Введение

Породоразрушающий буровой инструмент обычно оснащают твердосплавными вставками, крупными зернами природных алмазов, поликристаллическими алмазами, например, типа карбонадо, алмазно-твердосплавными пластинами (АТП), композиционным материалом славутич, мелкими зернами природных и синтетических алмазов, импрегнированными в металлические матрицы, а также в последнее время алмазным композиционным термостойким материалом (АКТМ).

В работе [1] описана конструкция алмазной комбинированной вставки (рис. 1), в которой концентрация алмазных зерен от периферии к вершине возрастает. Вставки из АКТМ обладают высокой концентрацией материала, а вставки из композиционного материала славутич – низкой. Комбинированные вставки испытаны при разрушении песчаника. Установлено, что энергоемкость разрушения породы при работе одиночных комбинированных вставок в два раза ниже, чем у вставок славутича. Кроме того, были изготовлены и испытаны в промышленных условиях буровые долота, рабочая поверхность которых оснащена комбинированными вставками. Они превосходили долота, оснащенные материалом славутич, по механической скорости приблизительно на 20 %.

В работе [2] представлена конструкция буровой коронки \varnothing 76 мм (рис.2), особенностью которой является размещение вставок из АКТМ в алмазном импрегнированном слое. Вставки выступали над поверхностью алмазного слоя и располагались по всему ее торцу с перекрытием друг друга. Коронки, оснащенные АКТМ, превосходили коронки БС20 по механической скорости и при этом проходка увеличилась в 1,4–1,8 раза.

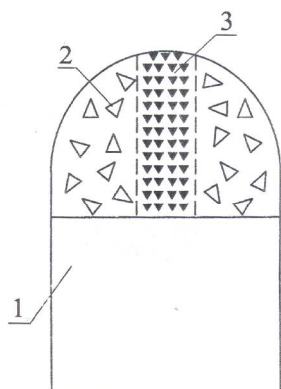


Рис. 1. Алмазная комбинированная вставка: 1 – твердосплавная державка; 2 – композиционный материал славутич; 3 – цилиндр АКТМ.

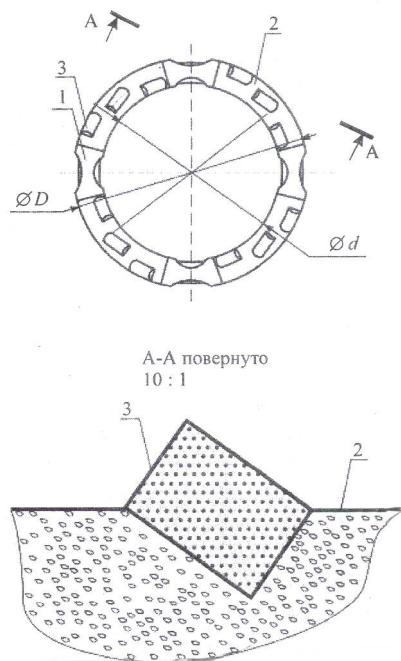


Рис. 2. Буровая коронка $\varnothing 76$ мм из АКТМ:

- 1 – промывочный паз;
- 2 - импрегнированный монокристаллическим синтетическим алмазом слой матрицы;
- 3 – вставки АКТМ.

диаметром от 1 до 31 мм, а приведены физико-механические свойства материала и номенклатура изделий.

Методика эксперимента

При проведении эксперимента использовались: техника высоких давлений, рентгеновская дифрактометрия, методы определения плотности, твердости, прочности и износостойкости. Образцы спекали в аппарате высокого давления (АВД) типа тороид с диаметром центрального углубления 30 мм [5]. Фазовый состав образцов изучен на рентгеновском дифрактометре общего назначения ДРОН-3. Их плотность определена методом гидростатического взвешивания в воде. Испытания на твердость проведены на приборе ПМТ-3 при нагрузках 10 Н с использованием индентора Кнупа. На разрывной машине усилием до 10 кН измерено усилие, при котором происходит разрушение образца, помещенного между параллельными твердосплавными опорами, при одноосном статическом сжатии. Определение показателя статической прочности осуществлено в соответствии с техническими условиями для шлифпорошков из синтетических поликристаллических алмазов типа «спеки» [6]. Величина предела прочности вычислялась как отношение нагрузки, разрушающей образец, к площади его поперечного сечения. Износостойкость и качество образцов оценивали в соответствии с методикой и требованиями, предъявляемыми к качеству алмазноносного слоя алмазно-твердосплавных пластин [7].

Экспериментальная часть

Для формирования поликристаллической структуры на основе алмаза, для которой характерен сплошной каркас из алмазных частиц, первоочередным процессом является формирование связи алмаз – алмаз. Основная роль в этом процессе принадлежит пластической

В работе [3] описаны коронки БТ19, оснащенные АКТМ и синтетическими алмазами, которые позволили повысить скорость бурения в 1,9 раза и снизить стоимость одного метра бурения скважин в породах средней твердости до 35 %.

В работе [2] изложены результаты испытаний коронки типа БА10, в которой вместо монокристаллов синтетического алмаза использовались порошки АКТМ зернистостью 1250/1000 мкм. Установлено, что коронки, оснащенные порошками АКТМ, способны разрушать породу VIII категории буримости. При этом с увеличением нагрузки в 2 раза механическая скорость бурения коронками возросла в 1,3.

В работе [4] описан способ изготовления вставок на основе АКТМ с использованием технологии интенсивного электроспекания при повышенном давлении.

В настоящей работе приведены результаты исследований по созданию алмазного композиционного термостойкого материала повышенной прочности

деформации алмазных частиц под воздействием высоких давлений. Во время смачивания алмазного каркаса кремнием, проникающим в межзеренные промежутки из пропитывающего слоя, который выполняет в этом случае роль технологической среды, происходит взаимодействие в системе алмаз – кремний, что приводит к формированию в межалмазных промежутках карбида кремния. Образование дополнительной связи алмаз – карбид увеличивает общую прочность поликристаллического материала.

Ранее нами было показано, что введение в пропитывающий слой нанопорошков алмаза уменьшает количество свободного кремния и увеличивает прочность материала (АКТМ) [8].

В данной работе проведено исследование влияния дополнительного введения в пропитывающий слой порошка титана на механические свойства алмазного композиционного материала [9]. Для испытания прочности и износостойкости были изготовлены образцы, которые имели следующие размеры: диаметр 2 мм, высота 2 мм; диаметр 13,5 мм, высота 3,5 мм.

Для изготовления образцов поликристаллов были спрессованы нагреватели из чешуйчатого графита диаметром 18 мм и высотой 2,4 мм с цилиндрическим гнездом диаметром 2,2 мм, а также нагреватели диаметром 18 мм, высотой 4,2 мм и цилиндрическим гнездом диаметром 14,2 мм. В цилиндрические гнезда графитового тигля засыпали алмазный порошок марки АСМ 40/28. Для формирования пропитывающего слоя приготовили смесь, которая содержала – 47,6 % (по массе) кремния с размером частиц меньше 100 мкм; 28,6 % по массе чешуйчатого графита; 19 % (по массе) алмазного нанопорошка с размером частиц 0,002–0,01 мкм и 4,8 % (по массе) титана (10 % (по массе) от количества кремния) с размером частиц 5 – 10 мкм. Смесь засыпали в шаровую мельницу и осуществляли смешивание на протяжении 30 мин. После этого из смеси спрессовали диски диаметром 18 мм и высотой 1 мм. Таким диском закрывали гнезда нагревателя, в которых размещался алмазный порошок.

Спекание производили в аппарате высокого давления типа тороид на протяжении 90 с при давлении 8 ГПа и температуре 1400 °С.

После спекания образцов была проведена их химическая очистка для удаления с поверхности материала остатков графита. На разрывной машине усилием до 10 кН проведены испытания прочности при одноосном статическом сжатии.

Износостойкость образцов измеряли методом строгания кварцевого песчаника. Износостойкость полученных образцов как с добавкой титана, так и без нее составляла 0,25 мм. Результаты испытаний показали, что прочность образцов с добавкой порошка Ti составила 2,8 ГПа, а без него – 2,2 ГПа. Таким образом, введение в пропитывающий слой титана при получении композиционного материала на основе алмаза дает возможность увеличить прочность материала в 1,2 раза, не снижая его износостойкости. Это достигается за счет образования TiSi₂ в пропитывающем слое, что вызывает уменьшение скорости пропитывания жидкости на основе кремния в алмазный порошок, увеличение степени его уплотнения и улучшение связи между алмазными частицами. Об образовании TiSi₂ свидетельствует проведенный фазовый анализ пропитывающего слоя (рис. 3).

При снаряжении нагревателей алмазами, изготовленными методом прессования из природного чешуйчатого графита, иногда наблюдается их разрушение. В связи с этим нами проведены работы по замене нагревателей более прочными.

В качестве источника углерода предложено использовать технический графит, а в качестве теплопроводящего материала – нитрид алюминия. В качестве связующего материала предложено применять оксид железа с ортофосфорной кислотой. Образующийся в ходе реакции фосфат железа обеспечивает высокую прочность [10].

Использование данного способа получения графитовых нагревателей для спекания порошков сверхтвердых материалов в условиях высокого давления и температуры позволяет значительно повысить (до 90 МПа) прочность материала нагревателя и, как следствие, точ-

ность формы и геометрических размеров получаемых поликристаллов, исключить изогнутость и отклонение контура поверхности от правильной окружности.

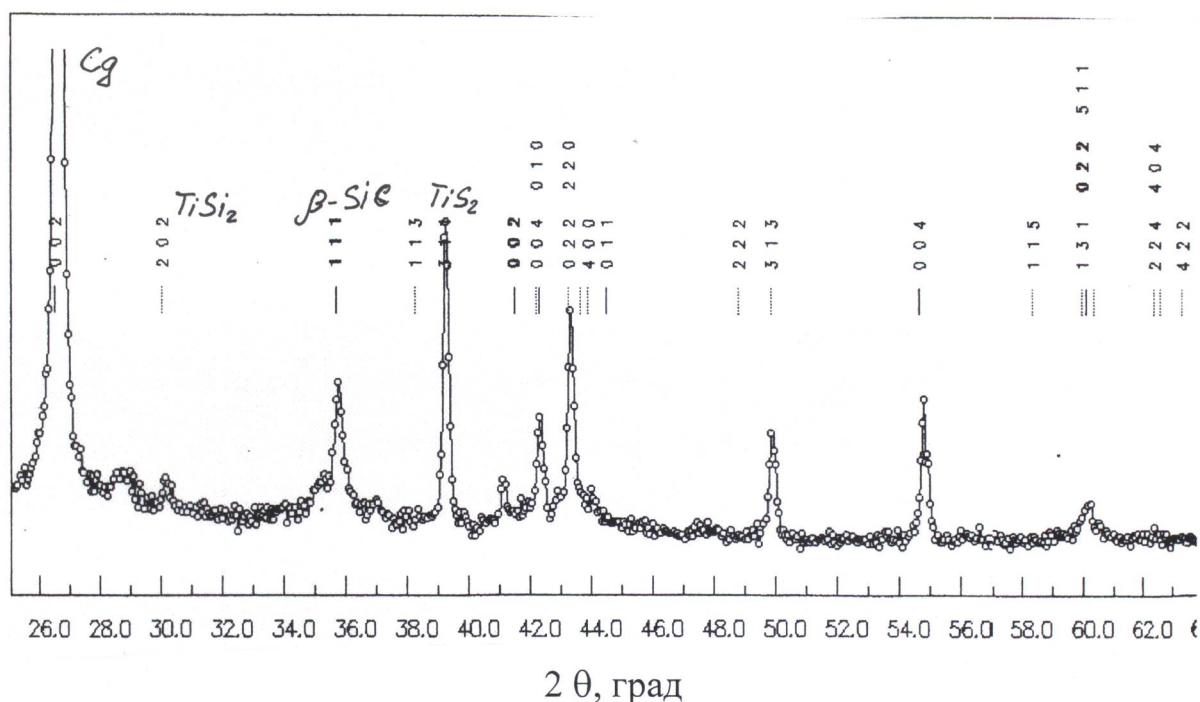


Рис. 3. Дифрактограмма протитывающего слоя.

Физико-механические свойства и номенклатура изделий алмазного композиционного термостойкого материала представлены в таблицах 1 и 2, соответственно.

Таблица 1. Физико-механические свойства АКТМ

Плотность, г/см ³	3,45	Модуль Юнга, ГПа	970
Твердость по Кнупу, ГПа	50–55	Теплопроводность, Вт/(мК)	250–300
Трещиностойкость, МПа·м ^{1/2}	10–12	Износостойкость при правке корундового круга, мг/кг	~ 4,4
Прочность на сжатие, ГПа	2,2–3,1	Термостабильность, К	~ 1500

Как видно из табл. 1, термостабильность материала АКТМ является высокой и составляет 1500 К. Это позволяет использовать для изготовления бурового инструмента связки с высокой температурой спекания, что обеспечивает значительную прочность удержания сверхтвердых режущих вставок. Для более прочного удержания в связке вставки из АКТМ необходимо обеспечить надежную связь между АКТМ и матрицей из твердого сплава. Для этой же цели в некоторых технологиях изготовления вставок предусматриваются металлизация АКТМ или нанесение на него карбидообразующего элемента, например, титана, что позволяет осуществлять спекание твердого сплава совместно со вставками АКТМ.

Таблица 2. Номенклатура изделий АКГМ для бурового инструмента

Наименование	Размеры	
	диаметр, мм	высота, мм
Цилиндры	1,0	2,0–4,0
	1,2	2,0–4,0
	1,5	2,0–4,0
	1,8	2,0–4,0
	2,0	2,0–4,0
	2,5	2,5–4,0
	3,0	3,0–4,0
	3,5	4,0
	4,0	4,0
	5,0	4,0
Диски	13,5	3,5
	25	4
	25	5
	31	4
Порошки	2500/2000	–
	2000/1600	
	1600/1250	

Выводы

Анализируя результаты выполненных исследований, можно сделать вывод, что при добавлении титана в пропитывающий слой образуется пористый слой из $TiSi_2$, который тормозит процесс пропитки и способствует улучшению межкристаллитной связи алмаз – алмаз и, соответственно, повышению прочности композиционного материала. Это свидетельствует о возможности добавления в пропитывающий слой карбидообразующих металлов, приводящих к образованию пористого слоя и, тем самым, уменьшению скорости пропитки.

Использование для спекания алмазных порошков нагревателей с высокой прочностью позволяет повысить точность геометрических размеров и правильность формы получаемых поликристаллов.

Литература

1. Бочковский А. М. Алмазные комбинированные вставки для бурового инструмента // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сборник науч. тр. – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2005. – С. 75–77.
2. Богданов Р. К., Загора А. П., Исонкин А. М. Буровой инструмент из алмазного композиционного термостойкого материала // Там же. 2004. – С. 18–21.
3. Богданов Р. К., Дутка В. А., Загора А. П. К вопросу оснащения сверхтвердыми материалами инструмента для бурения скважин в породах средней твердости // Там же. 2005. – С. 78–82.
4. Иванов С. А., Переяслов В. П., Дутка В. А., Бочковский А. М. Вставки с алмазным композиционным термостойким материалом для бурового инструмента // Там же. 2004. – С. 44–49.
5. Шульженко А. А., Гаргин В. Г., Шишкин В. А., Бочечка А. А. Поликристаллические материалы на основе алмаза. – Киев: Наук. думка, 1989. – 192 с.
6. ДСТУ 3292–95. Порошки алмазні синтетичні. Загальні технічні умови. – Київ: Держстандарт України, 1995. – 71 с.

7. ТУ 88 Украины 90.1244–91. Пластины алмазно-твердосплавные для режущего инструмента. Технические условия. – Киев: ИСМ АН Украины, 1991. – 21 с.
8. Шульженко А. А., Гаргин В. Г., Бочечка А. А. и др. Применение алмазных нанопорошков для увеличения прочности композита на основе алмаза и карбида кремния. // Сверхтв. материалы. – 2000. – № 3. – С. 3–15.
9. Пат. 65297А Україна, МПК 7 С22С26/00. Спосіб одержання композиційного матеріалу на основі алмазу / О. О. Шульженко, В. Г. Гаргін. - Опубл. 15.03.2004, Бюл. № 3.
10. Заявка и 2006 03457 Україна, МПК 7 С04В35/00, С04В35/52, Н05В3/14. Шихта для виготовлення нагрівача пристрою високого тиску / О. О. Шульженко, Н. О. Русінова, В. Г. Гаргін, Г. Д. Ільницька. – Прийняте 30.03.2006.

Поступила 05.06.2006 г.