

УДК 622.24 (085). (477.62)

А. М. Исонкин, Т. М. Дуда, Л. И. Александрова, кандидаты техн. наук,
В. Н. Ткач, д-р физ.-мат. наук¹; **Н. Н. Белявина**², канд. техн. наук

¹*Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев*

²*Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, Украина*

ВЛИЯНИЕ МЕТАЛЛИЗАЦИИ АЛМАЗОВ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИЦИОННОГО АЛМАЗОСОДЕРЖАЩЕГО МАТЕРИАЛА МАТРИЦЫ БУРОВЫХ КОРОНОК

Показано влияние одно- и двухслойных металлических тугоплавких покрытий высокопрочных алмазов на формирование переходной зоны «алмаз–покрытие–материал матрицы», структуру и физико-механические свойства композита алмаз–WC–Co–Si.

Ключевые слова: *металлизация, тугоплавкое покрытие, синтетические алмазы, материал матрицы, предел прочности на сжатие.*

Бурение геологоразведочных скважин при разведке месторождений полезных ископаемых как область применения алмазного породоразрушающего инструмента повышенной работоспособности является одним из наиболее важных, однако и наиболее сложных относительно условий его работы. При этом затраты на инструмент в общей стоимости геологоразведочных работ по бурению скважин тем выше, чем тверже и абразивнее горные породы.

В условиях повышенных требований к работоспособности алмазного породоразрушающего инструмента проблемы создания, усовершенствования и повышения эффективности его использования актуальны и связаны с дальнейшим развитием научных принципов формирования структуры и физико-механических свойств алмазосодержащих композиционных материалов, рациональным определением их химического состава, технологических режимов изготовления, а также изучением основных факторов улучшения структуры и свойств композита.

В этой связи первоочередная задача – усовершенствовать структуру композиционных алмазосодержащих материалов (КАМ) и разработать наиболее износостойкий их состав, что позволит наиболее эффективно использовать потенциал алмазные порошки высокопрочных марок при разрушении горных пород.

Из опыта эксплуатации алмазных инструментов следует, что такие исключительные физико-механические свойства алмаза, как высокую твердость и режущую способность при низком коэффициенте трения, износостойкость и теплопроводность, используют неэффективно. От 30 до 95% алмазов выпадают из матрицы, не достигая значительного износа. Это связано с тем, что используемые технологии и связки не обеспечивают надежного закрепления зерен в металлической связке матрицы инструмента. Надежность алмазоудержания и работоспособность инструмента в целом в значительной степени определяются природой контактного (переходного) слоя между алмазом и матрицей.

В последние годы одним из наиболее эффективных направлений повышения износостойкости алмазного породоразрушающего инструмента является применение для его оснащения высокопрочных алмазов с металлическими покрытиями из адгезионно-активных относительно них металлов [1]. К ним относятся тугоплавкие покрытия на основе таких химических элементов, как Ti, Cr, W, Ni, Mo и др.

Применяют различные способы и технологии нанесения таких покрытий. Химическое осаждение покрытий (CVD) осуществляют методом водородного восстановления тугоплавких соединений при использовании реакционных парогазовых смесей галогенидов металлов и соединений. Физическое осаждение покрытий (PVD) основано на генерации вещества в вакуумном пространстве камеры с подачей реакционного газа [2]. В современном производстве широко применяют также методы детанационного и газоплазменного нанесения покрытий, раскисления карбониллов тугоплавких металлов, металлизации в вакууме в присутствии жидкой фазы [3–6]. При металлизации порошков СТМ широкое применение получили методы химического и электрохимического осаждения, обладающие высокой производительностью, низкотемпературным обеспечением, равномерностью нанесения покрытий любой толщины на поверхности сложного профиля и низкой энергоемкостью.

Высокопрочные алмазы являются углеродным материалом, атомы которого обладают высокой подвижностью и реакционной способностью. В целом нанесение покрытий для увеличения адгезии к поверхности и прочности связи алмаз – покрытие должно сопровождаться поверхностной реакционной диффузией, которую обеспечивает диффузионный метод нанесения покрытий с образованием простых и сложных тугоплавких химически индивидуальных фаз.

С учетом изложенного основная цель настоящего исследования – проанализировать влияние полученного диффузионным методом, химическим и электрохимическим осаждением металлического тугоплавкого покрытия алмазов на структуру переходной зоны «алмаз–покрытие–материал матрицы» и прочностные характеристики оснащенных ими КАМ на связке WC–Co–Cu, изготовленных методом пропитки.

Методика исследований

Для исследования влияния химического состава покрытий алмазов на физико-механические свойства КАМ методом холодного прессования шихты ВК6 с последующей пропиткой медью М1 при температуре 1150 °С в вакуумной печи изготовили цилиндрические образцы правильной геометрической формы диаметром и высотой по 10 мм. Все образцы оснастили синтетическими алмазами марки АСТ160 зернистостью 500/420 мкм, взятыми из одной исходной партии, с относительной их концентрацией 100. Предварительно алмазы металлизировали однослойным покрытием Ti, Cr и электрохимическими сплавами Ni–W, Co–W, а также двухслойными покрытиями Ti + Ni–W, Ti + Co–W.

Нанесли Ti, Cr, W диффузионным методом, Ni – высокоскоростным химическим восстановлением, сплавы Co–W и Ni–W – электрохимическим осаждением.

Статическую прочность исходных алмазов и алмазов с тугоплавкими покрытиями определяли прибором ДДА–33.

Рентгенофазовый анализ металлизированных алмазов осуществляли с помощью дифрактометра ДРОН-3 (медное фильтрованное излучение). Переходную зону «алмаз – покрытие – материал матрицы» исследовали на изломе образцов растровым электронным микроскопом Zeiss EVO 50.

Испытание на сжатие проводили на универсальной испытательной машине с использованием шкалы с границей измерения нагрузки 200 кН. Для обеспечения передачи усилия без деформации передающих опор последние изготовили из мелкозернистого твердого сплава марки ВК3М. Для уменьшения действия контактных сил трения на опорных поверхностях образца размещали прокладки из алюминиевой фольги толщиной 0,02 мм.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты рентгенофазового анализа алмазов, металлизированных тугоплавкими покрытиями, приведены в табл. 1

Из анализа данных табл. 1 следует, что на границе с алмазом образуются зоны соответственно карбида титана, хрома и вольфрама, плавно переходящие в твердый раствор углерода в соответствующем элементе покрытия.

Таблица 1 Фазовый анализ алмазов, металлизированных тугоплавкими покрытиями

Покрытие	Степень металлизации, % (масс.)	Содержание элемента, %		
		углерода	карбидов	окислов
Ti	2,5	99	TiC-1	–
Ti – Cr	14	95	Cr ₃ C ₂ -2 TiC-1	Cr ₂ O ₃ -2
W	9,4	79	W-2 WC-14 Co ₃ WC-5	–
Cr	20	99	Cr ₃ C ₂ -1	–

Следует отметить, что наиболее активным элементом является W, который по сравнению с такими элементами, как Ti, Cr, Co, Ni, обладает самой высокой теплопроводностью, образует карбид вольфрама и более сложный стехиометрически карбид с участием Co.

Металлический вольфрам и его карбиды, которые широко используют в производстве КАМ, хорошо смачиваются металлическими связками на основе меди, что позволяет производить их спонтанную инфильтрацию за короткое время без приложения внешнего давления. При этом W и его карбиды не растворяются в жидкой меди [7].

При определении статической прочности установили, что этот показатель у алмазов с покрытиями находится на уровне, совпадает с аналогичным показателем исходных алмазов или превышает его на 5–7% (Табл. 2).

Таблица 2. Статическая прочности исходных и металлизированных тугоплавкими покрытиями алмазов АСТ 160 500/420

Покрытие алмазов	Разрушающее усилие, Н
Исходные без покрытия	475,4
Ti	506,8
W	478,8
Cr	507,5
Ti – Cr	502,3
Ti + Ni – W	508,1
Ti + Co – W	507,8

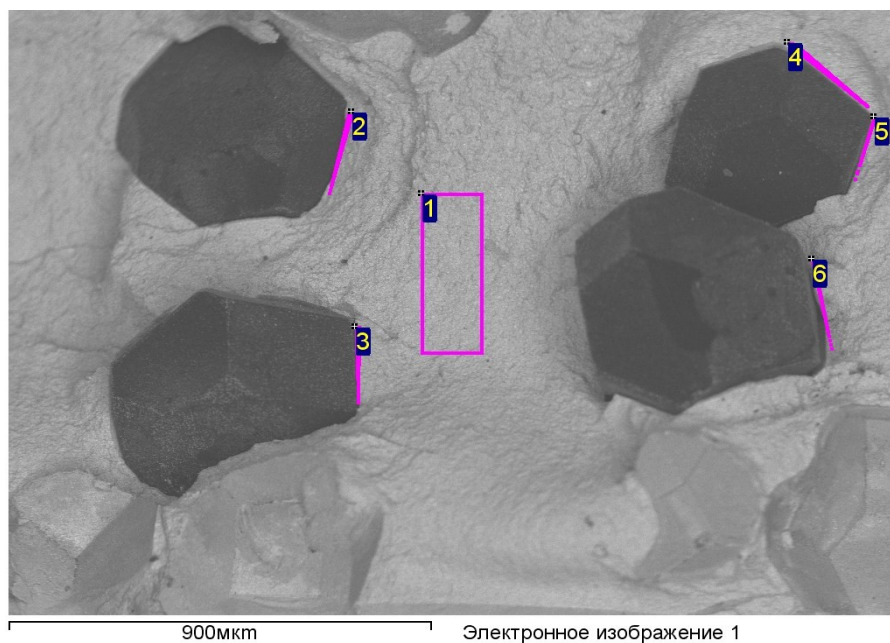
На примере покрытия алмазов вольфрамом исследован элементный состав излома спеченых образцов (рис. 1) и границы алмаз – покрытие – матрица (рис. 2).

Общий вид излома (рис.1) свидетельствует о достаточно прочном закреплении металлизированных алмазов в связке. Структура композита однородна, монолитна и связка плотно прилегает к алмазному зерну.

Из анализа границы зоны алмаз – покрытие – матрица следует наличие четырех переходных зон. Первая – алмаз. На поверхности алмаза после разрушения спеченного образца дискретно расположены светлые зоны образовавшихся на поверхности участков карбида вольфрама.

На границе с алмазом (спектр 1) идентифицировано вольфрамовое покрытие, имеющее четкий ломаный контур. Это подтверждает островковый характер формирования карбида вольфрама.

Переходная зона от покрытия к матрице толщиной от 2 до 4 мкм имеет совершенную плотную безпористую структуру, что определяет качественное граничное диффузионное взаимодействие.



Параметры обработки: Выполнен анализ всех элементов (Нормализован)

Спектр	В стат.	C	Co	Cu	W	Итог
1	Да	6,88	2,48	43,93	46,71	100,00
2	Да	80,62	1,15	17,70	0,53	100,00
3	Да	15,16	1,82	42,75	40,27	100,00
4	Да	16,66	1,55	34,05	47,74	100,00
5	Да	55,03	2,67	26,62	15,69	100,00
6	Да	32,80	1,38	33,94	31,87	100,00
Среднее		34,53	1,84	33,16	30,47	100,00
Станд. отклонение		28,31	0,61	9,91	18,84	
Макс.		80,62	2,67	43,93	47,74	
Мин.		6,88	1,15	17,70	0,53	

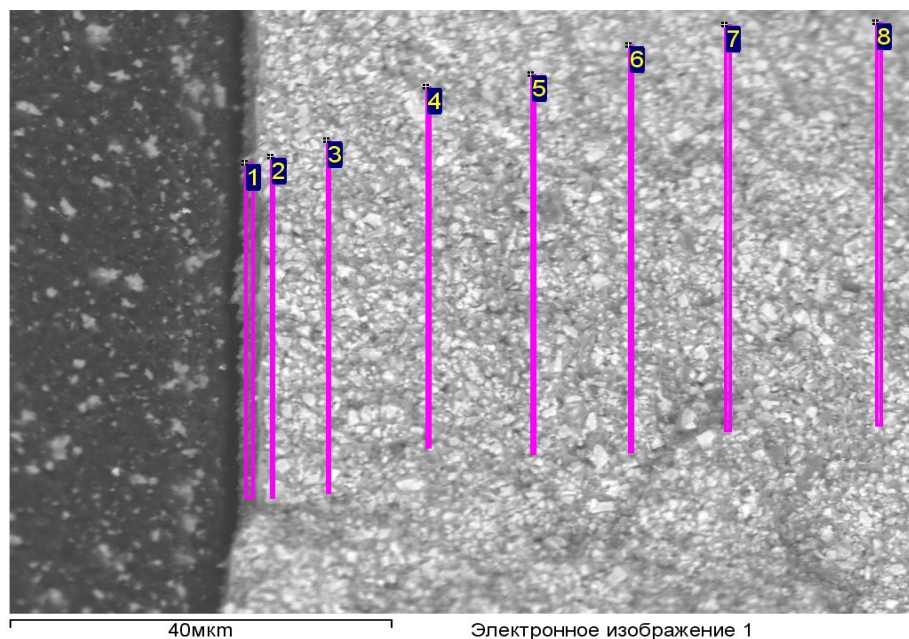
Все результаты в весовых %

Рис. 1. Общий вид излома спеченного композита, содержащего алмазы, металлизированные W, и его элементный состав

Кобальт, вольфрам (Co_3WC) и медь равномерно распределены как во всем объеме композита, так и в граничных зонах (спектры 1–8). В результате диффузионного взаимодействия на границе покрытия – связка образуется прослойка интерметаллидов меди (рис.3) с материалом покрытия, которые распределены как по границе покрытия (светлая прослойка), так и в межзеренном пространстве и структурных каналах между частицами WC.

При исследовании влияния металлизации алмазов на предел прочности КАМ на сжатие для образцов характерен классический характер разрушения в виде трещин, направленных под углом 45° к его оси. Особенность состоит в том, что разрушается мягкий связующий материал матрицы, а зерна алмазов не разрушаются (рис. 4).

Металлизация алмазов и сформированная структура композиционного алмазосодержащего материала обеспечивают прочное соединение алмаза со связкой материала матрицы, что подтверждено результатами исследований прочности образцов на сжатие, показанными на рис. 5.



Параметры обработки: Выполнен анализ всех элементов (Нормализован)

Спектр	В стат.	C	Co	Cu	W	Итог
1	Да	49,62	2,43	45,83	2,12	100,00
2	Да	20,51	2,19	36,38	40,91	100,00
3	Да	7,77	1,53	47,34	43,37	100,00
4	Да	5,71	1,55	46,56	46,17	100,00
5	Да	4,45	1,82	37,15	56,58	100,00
6	Да	3,47	1,79	49,60	45,13	100,00
7	Да	4,59	1,74	40,44	53,23	100,00
8	Да	3,22	1,86	46,13	48,79	100,00
Среднее		12,42	1,86	43,68	42,04	100,00
Станд. отклонение		16,06	0,31	4,98	16,93	
Макс.		49,62	2,43	49,60	56,58	
Мин.		3,22	1,53	36,38	2,12	

Все результаты в весовых %

Рис. 2. Переходные зоны излома алмаз – покрытие – связка и их элементный состав

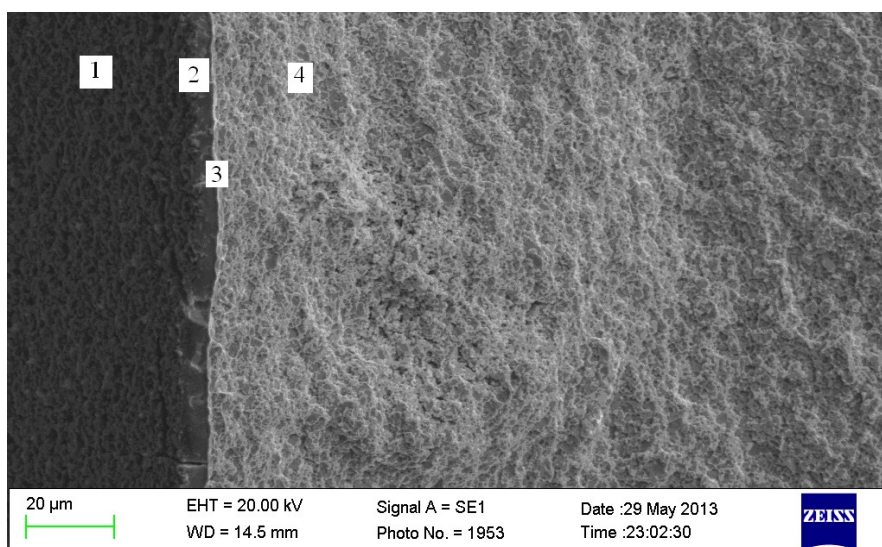


Рис. 3. Характерный вид структуры переходной зоны «алмаз – покрытие – материал матрицы»:
1 – алмазное зерно;
2 – покрытие;
3 – прослойка интерметаллидов меди с металлами покрытия;
4 – материал матрицы WC – Co + Cu



Рис. 4. Характерный вид разрушения образцов при одноосном сжатии

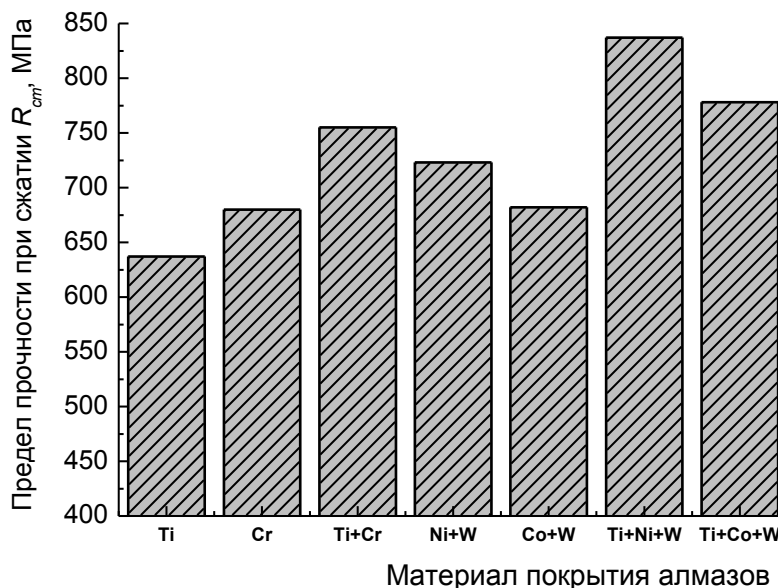


Рис. 5. Зависимость предела прочности композиционного алмазосодержащего материала матрицы на основе ВК6+Cu от химического состава металлического покрытия алмазов

Выводы

Нанесение на высокопрочные синтетические алмазы покрытия из адгезионно активных относительно них тугоплавких металлов чаще всего способствует повышению их прочности при статическом сжатии.

Сохранение при изготовлении алмазного инструмента покрытия в виде карбидного слоя металла, адгезионно активного относительно алмаза, и образования переходной зоны с его интерметалидами и меди обеспечивают прочное соединение алмаза со связкой материала матрицы. Это подтверждается следующим:

- использование покрытий алмазов с Ti и Cr способствует повышению предела прочности образцов на сжатие в сравнении с КАМ с алмазами без покрытия соответственно на 5 и 12% (605, 637 и 680 МПа);
- использование покрытий алмазов с Ni + W, Ti + Cr и Co + W способствует повышению предела прочности образцов на сжатие в сравнении с КАМ с алмазами без покрытия соответственно на 19, 28 и 29% (605, 723, 775 и 682 МПа);
- использование покрытий алмазов с Ti + Co – W (6,0% масс.) Ti + Ni–W способствует повышению предела прочности образцов на сжатие в сравнении с КАМ с алмазами без покрытия соответственно на 22 и 38% (605, 778 и 837 МПа).

Показано вплив одно- та двошарових металевих тугоплавких покриттів високоміцних алмазів на формування перехідної зони «алмаз–покриття–матеріал матриці», структуру та фізико-механічні властивості композиту алмаз–WC–Co–Cu.

Ключові слова: металізація, тугоплавкое покриття, синтетичні алмази, матеріал матриці, межа міцності на стискання.

Shows the effect of one- and two-layer metal refractory coatings for high diamond formation of the transition zone "diamond–coating–material matrix" structure and physico-mechanical properties of the composite diamond–WC–Co–Cu.

Key words: metallization, refractory coating, synthetic diamonds-tions, the matrix material, the compressive strength.

Литература

1. Исонкин А. М., Богданов Р. К. Влияние металлизации алмазов на показатели работоспособности буровых коронок // Наук. пр. Донецьк. нац. техн. ун-ту. Сер. «Гірнично-геологічна». – Донецьк; ДВНЗ «ДонНТУ», 2011. – Вип. № 14 (181). – С. 158–164.
2. Окулик М. А. Нанопокрyтия для металлорежyщего инструмента // Мат. конф. Нанотехнология и наноматериалы: – Донецк, 2011. – С. 1–10
3. Пат. 20099234 Франция, МКИ В23Р5/00; В22F 3/00; В24D 17/00 Pieces compacts a diamond / De Beers Industrial Division Limited. – Publ. 17.03.72.
4. Пат 821902 ФРГ, В23Р5/00. Verfahren run Verbessern der Lotfahigkeit und Haltfeatigkeit vo Nickelschichten / Resista Fabrik elektrischerWiderstande GmbH; P. Petrsck, C. M. Hofbauer. – Publ. 27.10.66.
5. Pat. 3508870 USA, Osmium carbonil / Ch. W. Bradford. – Publ. 28.04.70.
6. Дуда Т. М. Свойства и области применения металлизированных алмазных и кубонитовых порошков / Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2008. – Вып. № 13. – С. 291–300.
7. Абызов А. М., Кидалов С. В., Шахов Ф. М. Термическое сопротивление границы раздела фаз композита алмаз–медь с высокой теплопроводностью // Физика твердого тела. – С.-Пб.: ГТИ, ФГИ им. Иоффе РАН, 2012. – Вып. № 1, Т. 54. – С. 196–200.

Поступила 20.06.13

УДК 622.24.051; 622.156

О. П. Виноградова

Институт надтвердых материалов им. В. М. Бакуля НАН Украины, м. Київ

ФОРМУВАННЯ ЯДРА ФРАГМЕНТУ ПРОДУКТІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД АЛМАЗНИМ ІНСТРУМЕНТОМ

Розглянуто зворотну поверхню фрагменту продуктів руйнування гірських порід алмазним індентором в алмазному інструменті.

Ключові слова: алмаз, алмазний інструмент, фрагмент, гірська порода.

Експериментальні дослідження, що спрямовані на вивчення механізму руйнування крихких, міцних порід одиничним алмазом, сприяють розробленню нового та оптимізації існуючого алмазного бурового інструменту.

У результаті вивчення механізму руйнування гірської породи одиничним алмазним зерном в Інституті надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України [1] дійшли висновку, що при заглибленні алмазного різця у крихку породу відбуваються лише пружні деформації, що завершуються миттєвим крихким руйнуванням (рис. 1).

Частинки міцних крихких порід 1 у вигляді дрібних довгастих частинок 2 з великою внутрішньою енергією під дією пружних сил, що виникають при стисканні під впливом осьового зусилля N і тангенціального T на алмазне зерно 3, закріплене у твердосплавній матриці інструменту 4, легко витісняються із зони руйнування.

Кулеподібні продукти руйнування 5 крихких гірських порід під дією алмазного зерна 2 (рис. 2), [2], [3] завдяки своєму розміру розміщуються під торцем інструменту; при цьому величина заглиблення h алмазного зерна у блок гірської породи 1 дорівнює глибині її руйнування.