

2. Вдовиченко А. І., Вітрик В. Г., Мартиненко І. І. Про доцільність буріння параметричної свердловини для оцінки нафтогазоносного потенціалу Українського щита // Буріння. – 2009. – № 1. – С. 30 - 31.
3. Вітрик В.Г. Використання нових розробок та винаходів на бурових роботах // Буріння. – 2009. – № 2. – С. 13 - 14.
4. Вдовиченко А. І., Мартиненко І. І. Впровадження новітніх технологій та підвищення інформативності геологорозвідувального буріння // Буріння. – 2009. – № 2. – С. 9 – 12.
5. Бондаренко О. М., Богданов Р. К. Проблеми рекуперації алмазів із спрацьованого бурового інструменту // Буріння. – 2009. № 2. С. 15 - 17.
6. Давиденко О. М., Каракозов А. А. Стан та перспективи вдосконалення системи підготовки фахівців бурової справи // Буріння. – 2009. – № 2. – С. 39- 43.
7. Лукін О. Ю. Вуглеводневий потенціал надр України та основні напрямки його освоєння // Буріння. – 2009. – № 4. – С. 24 -32.
8. Коваль А. М., Чепіль П. М. Про відновлення покладів нафти і газу в Україні // Буріння. – 2009. № 4. С. 33 – 37.
9. Рябцев Г. Л. Информационные манипуляции и их влияние на развитие национальной нефтегазодобычи // Буріння. – 2009. – № 4. – С. 38 – 40.
10. Сторожев Р. И. Роль реформирования газового рынка в развитии национальнвльной газодобычи // Буріння. – 2009. – № 4. – С. 41 – 42.
11. Єрмаков П. П. Кризис. Власть бездействует. Путь движения Украины – прогрес или тупик // Буріння. – 2009. – № 4. – С. 49 – 51.

Поступила 25.06.2010

УДК 622.24 (085). (477.62)

В. П. Бондаренко, член-корр. НАН України; **А. М. Исонкин**, **Р. К. Богданов**, кандидаты технических наук; **А. А. Матвейчук**

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

ВЛИЯНИЕ ЗЕРНИСТОСТИ ВЫСОКОПРОЧНОГО ТУГОПЛАВКОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ АЛМАЗНЫХ БУРОВЫХ КОРОНОК

Results on studies the influence of grain monocarbide tungsten on the efficiency of diamond drill bits are given

Как свидетельствует отечественный и зарубежный опыт, композиционные материалы с металлической матрицей, упрочненной тугоплавкими высокомолекулярными высокопрочными частицами, перспективны для применения в различных отраслях, в том числе при бурении скважин. При соответствующем составе матричных сплавов и определенной объемной доле армирования дисперсные частицы стабилизируют структуру композиционных материалов, тем самым косвенно обеспечивая повышение прочности и износостойкости [1, 2].

С учетом того, что алмазосодержащая матрица буровых коронок представляет собой объемную гетерогенную систему, состоящую из существенно различающихся свойствами, взаимно нерастворимых компонентов (алмаз, износостойкий наполнитель, металлическая связка), актуальны исследования, направленные на максимально эффективное совокупное использование преимуществ каждого из них. Важный фактор заключается в том, что влияние этих компонентов изменяется в зависимости от природы и условий получения, физико-механических свойств используемых материалов и технологических режимов изготовления инструмента.

В настоящее время в качестве наполнителя широко используют рэлит – частицы, состоящие из смеси карбидов вольфрама WC и W₂C. Недостатком такого наполнителя является наличие в частицах значительного количества микротрещин, возникающих в процессе дробления, и микронапряжений на границе фаз WC и W₂C.

По нашему мнению, в качестве наполнителя перспективнее крупные однофазные частицы WC, получаемые методом карбидизации крупнозернистых порошков монокарбида вольфрама.

Из всех тугоплавких карбидов монокарбид вольфрама WC с высокими микротвердостью ($HV_{0,05} = 2000$ МПа), модулем упругости ($E = 722$ ГПа) и энергией активации движения дислокаций ($U_0 = 1,5$ эВ) наиболее пластичный. Предел его прочности при изгибе $R_{bm} = 550$ МПа, в то время как у второго по пластичности карбида титана $R_{bm} = 240–390$ МПа. Прочность при изгибе карбидов тантала, ниобия, молибдена, ванадия и хрома неизвестна. Модуль упругости карбида титана 350 ГПа более чем в два раза меньше, чем WC.

В отличие от карбидов титана, циркония, гафния, ванадия, ниобия, тантала, хрома и молибдена, монокарбид вольфрама, как химическое соединение не имеет области гомогенности. При этом он хорошо смачивается (угол смачивания составляет 0 °) металлами железной триады и несколько хуже медью (угол смачивания при температуре 1200 °C = 7 °) [3].

Результаты анализа процесса гидроабразивного изнашивания композиционных алмазосодержащих материалов показали, что введение в их состав зерен WC разного размера в качестве износостойкого наполнителя способствует снижению интенсивности изнашивания породоразрушающего инструмента и повышению его работоспособности [4].

В этой связи в настоящей работе изучили влияние размеров частиц WC на основные показатели работоспособности алмазных буровых коронок: механическую скорость бурения и интенсивность изнашивания.

Объектом исследований взяли коронки типа БС-01 диаметром 76 мм с матрицей на основе шихты ВК6, пропитанной медью методом инфильтрации. Коронки оснастили синтетическими монокристаллическими алмазами марки АС160Т зернистостью 355/300 мкм с относительной концентрацией 125 %, а также износостойким наполнителем – монокарбидом вольфрама WC разной зернистости (–40 мкм, 125/80 и 160/125 мкм) в количестве 12 об. %

Порошки крупнозернистого монокарбида вольфрама WC зернистостью –40, 125/80 и 160/125 мкм были получены способом газовой карбидизации при температуре 2200–2400 °C в метано-водородной газовой среде. Для получения таких карбидов применяли предварительно рассеянные на фракции порошки крупнозернистого вольфрама W, полученные восстановлением из WO₃ в закрытом реакционном пространстве [5].

Внешний вид частиц монокарбида вольфрама WC показаны на рис. 1.

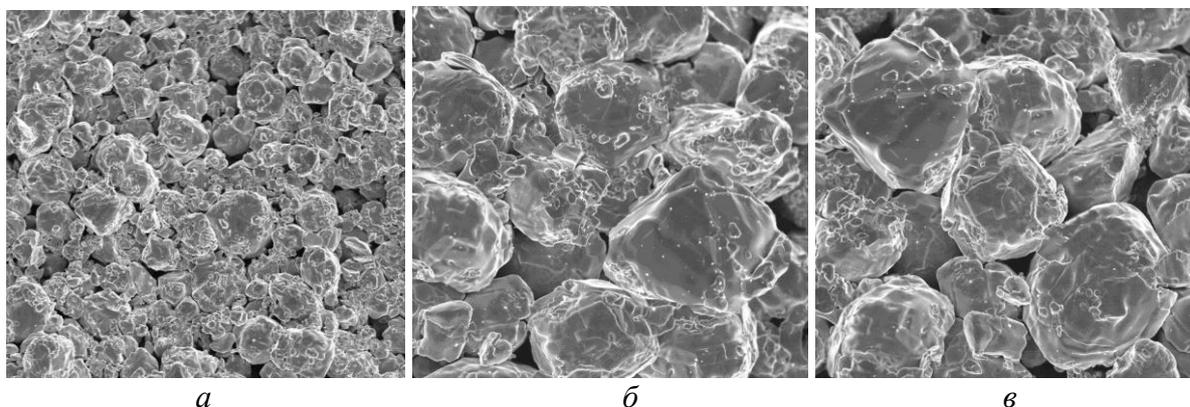


Рис. 1. Внешний вид частиц WC зернистостью: а – –40 мкм; б – 125/80 мкм; в – 160/125 мкм

Частицы монокарбида вольфрама WC зернистостью –40 мкм представляют собой округлые агломераты мелких и крупных частиц. Крупнозернистые частицы зернистостью

125/80 и 160/125 мкм округлые, поликристаллические, с четкой границей раздела между отдельными блоками размером 10–20 мкм (рис. 2).

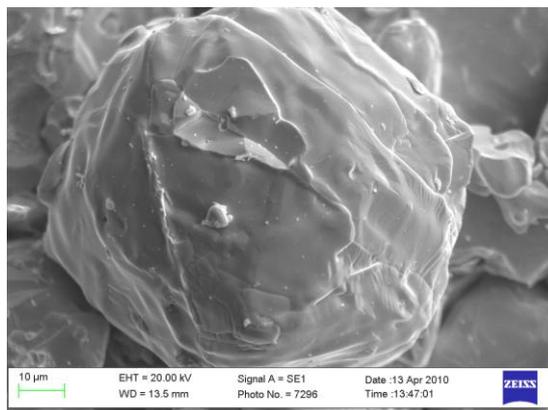


Рис. 2. Внешний вид отдельной частицы WC зернистостью 125/80 мкм ($\times 2500$)

Во время карбидизации на крупной частице W образуются зародыши фаз W_2C и WC, которые растут в середину частицы до взаимного столкновения столкновения с образованием межблочных границ (рис. 3).

При этом частицы порошка имеют внутренние напряжения и субмикротрещины, образующиеся вследствие разных коэффициентов термического расширения и плотности фаз W, W_2C , WC. Небольшое количество блоков обусловлено высокими температурой карбидизации и длительностью изотермической выдержки.

Микротвердость частиц составляет 8–10 ГПа, что согласуется с теоретической моделью [7].

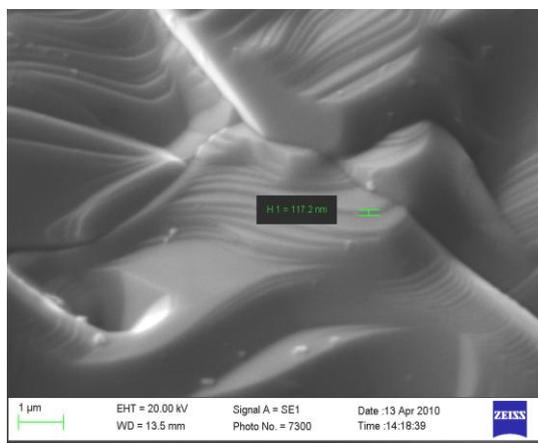


Рис. 3. Общий вид межблочных границ у частиц WC ($\times 10000$)

Экспериментальные исследования работоспособности буровых коронок проводили на специальной установке, представляющей собой модернизированный радиально-сверильный станок модели 2Н58 с мощностью двигателя основного привода 13 кВт, дополнительно оснащенного гидравлической системой подачи и системой промывки скважины.

Испытывали коронки путем бурения скважин при частоте вращения инструмента 600 мин^{-1} и осевой нагрузке 750–1500 даН с шагом изменения 250 даН. В качестве эталонной горной породы для испытаний износостойкости инструмента выбрали коростышевский гранит X категории буримости, характеризующийся стабильными свойствами, высокой твердостью и средней абразивностью. Гранит – биотитовый порфиридовидный. Вкрапления полевого шпата имеют изометрическую или удлиненную призматическую форму. Основная масса породы среднезернистая, микроструктура гипидиоморфнозернистая. Основные физико-

механические свойства гранита: твердость по штампу $P_{ш} = 237$ даН/мм², абразивность – 43, объединенный показатель буримости $\rho_m = 34,2-51,2$.

Зависимости механической скорости бурения от осевой нагрузки для коронок, содержащих в качестве износостойкого наполнителя матрицы зерна WC разной зернистости, показаны на рис. 4.

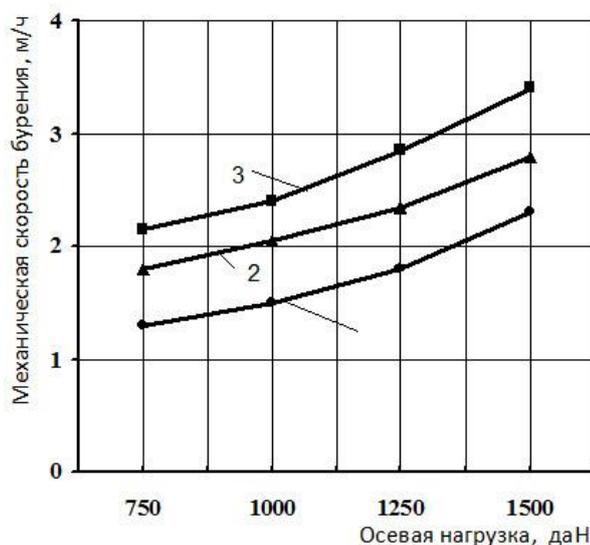


Рис. 4. Зависимости механической скорости бурения от осевой нагрузки коронок БС-01 Ø76 мм с наполнителем WC зернистостью: 1 – 40 мкм; 2 125/80 мкм; 3 – 160/125 мкм

Как видим, для всех опытных коронок характерна общая закономерность прямо пропорционального повышения механической скорости бурения при повышении осевой нагрузки.

У коронок с наполнителем WC зернистостью –40 мкм механическая скорость бурения наименьшая. Повышение осевой нагрузки с 750 до 1500 даН способствовало повышению механической скорости бурения с 1,35 м/ч до 2,25 м/ч, т.е. в 1,68 раза.

У коронок с наполнителем WC зернистостью 125/80 и 160/125 мкм такое же повышение осевой нагрузки способствовало повышению механической скорости бурения соответственно в 1,57 (с 1,78 м/ч до 2,8 м/ч) и в 1,6 раза (с 2,1 м/ч до 3,36 м/ч).

Следует отметить, что темпы повышения механической скорости бурения с увеличением осевой нагрузки практически не зависели от размера частиц наполнителя. Это свидетельствует о том, что механизм разрушения горной породы при изменении размеров частиц WC с 40 до 160 мкм не изменяется. Однако при такой же осевой нагрузке с увеличением размеров зерен WC механическая скорость бурения повышается. Это свидетельствует о высокой вероятности того, что крупные зерна WC, обнажившиеся на рабочей поверхности матрицы, могут в дополнение к алмазам участвовать в разрушении предразрушенной ими горной породы.

Зависимости интенсивности изнашивания коронок от осевой нагрузки показаны на рис.5.

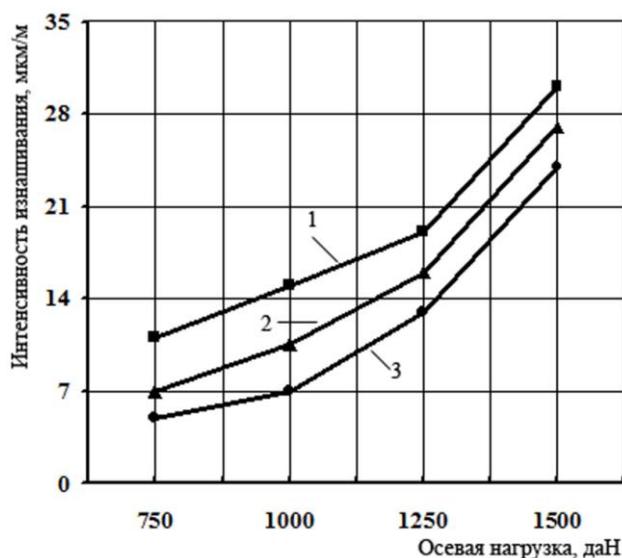


Рис. 5. Зависимости интенсивности изнашивания буровых коронок типа БС-01 диаметром 76 мм от осевой нагрузки при постоянной частоте вращения 600 мин^{-1} и зернистости коронок: 1 – -40 мкм, 2 – +80 -125 мкм, 3) +125 -160 мкм

Следует отметить, что для всех коронок так же, как и для механической скорости бурения, характерна общая закономерность прямопропорционального повышения интенсивности изнашивания алмазонасной матрицы при росте осевой нагрузки.

У коронок с зернистостью наполнителя WC зернистостью -40 мкм была зафиксирована наибольшая величина интенсивности изнашивания матрицы коронки. Повышение осевой нагрузки с 750 даН до 1500 даН вызывало ее рост в 2,73 раза (с 11 мкм/м до 30 мкм/м).

У коронок с наполнителем WC зернистостью 125/80 и 160/125 мкм повышение осевой нагрузки с 750 до 1500 даН приводит к повышению интенсивности изнашивания их матрицы соответственно с 7 мкм/м до 27 мкм/м (в 3,86 раза) и с 5 мкм/м до 24 мкм/м (в 4,8 раза).

Таким образом, с увеличением зернистости наполнителя WC повышение темпов интенсивности изнашивания приводит к ее снижению величины при всех исследованных сочетаниях параметров режима бурения. Интересно, что с увеличением размера зерна WC темпы повышения интенсивности изнашивания с ростом осевой нагрузки, в отличие от темпов повышения механической скорости бурения, возрастают, что приводит при больших осевых нагрузках (1500 даН) к сближению величин интенсивности изнашивания. Механизм этого явления пока не ясен. Для его выявления необходимы специальные исследования. Здесь же отметим, что на износ коронки масштабный фактор частиц WC при различных осевых нагрузках влияет по-разному: при небольшой осевой нагрузке (750–1250 даН) темпы повышения износостойкости коронок с увеличением размеров зерен WC возрастают, а при большей – начинает уменьшаться. Вероятно, это обусловлено постепенным исчерпанием способности крупных частиц WC сопротивляться износу вследствие увеличения в них количества и размеров дефектов, указанных при описании их структуры.

Сопоставив полученные значения механической скорости бурения и интенсивности изнашивания в одинаковых режимах бурения, приходим к выводу, что эффективнее будут работать буровые коронки, обеспечивающие максимальную для заданных режимов бурения механическую скорость при минимальной интенсивности их износа. Приняв в качестве показателя эффективности работы буровых коронок отношение механической скорости бурения $V_{\text{мех}}$ к интенсивности изнашивания I , рассмотрим результаты испытаний (см. таблицу).

Эффективности работы буровых коронок

Зернистость наполнителя WC, мкм	$V_{мех}/I$ при осевой нагрузке на коронку, даН			
	750	1000	1250	1500
–40	0,122	0,100	0,095	0,075
+80 –125	0,223	0,171	0,138	0,104
+ 125 –160	0,420	0,343	0,219	0,140

Из данных таблицы следует, что наиболее эффективны из числа испытанных при бурении коростышевского гранита опытные коронки с износостойким наполнителем WC зернистостью 160/125 мкм. Такой наполнитель с точки зрения рационального применения зерен WC можно рекомендовать для использования в матрицах буровых коронок в целях повышения их износостойкости при бурении твердых абразивных пород (твердые кварцевые мелкозернистые песчаники, плотные магнетитовые руды, граниты, гранодиориты, джеспилиты и др.).

Литература

1. Тарнопольский Ю. М., Жигун И. Г., Поляков В. А. Пространственно-армированные композиционные материалы. – М.: Машиностроение, 1987. – 224 с.
2. Справочник по композиционным материалам: В 2 кн.: Пер. с англ. / Под ред. Дж. Любина. – М.: Машиностроение, 1988. – Кн. 1. – 448 с.; Кн. 2. – 584 с.
3. Тучинский Л. И. Композиционные материалы, получаемые методом пропитки. – М.: Металлургия, 1986. – 208 с.
4. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении / П. В. Зыбинский, Р. К. Богданов, А. П. Загора, А. М. Исонкин – Донецк: Норд-Пресс, 2007. – 244 с.
5. Новые технологии синтеза вольфрамсодержащих составляющих твердых сплавов группы ВК и ТК / В. П. Бондаренко, И. В. Андреев, И. В. Савчук, А. А. Матвейчук // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – 2008. – Вып. – 11.
6. Особенности восстановления вольфрама из его оксида WO₃ в закрытом реакторе / В. П. Бондаренко, И. В. Андреев, И. В. Савчук и др. // Сверхтв. материалы. – 2005. – № 2, – С. 35–45.
7. Gille Gerhard, Bredthauer J., Gries B., Mende B., Heinrich W. Advanced grades of WC and binder powder – their properties and applications // European Conference on Advanced in Hard Materials Production Lingotto Conference Centre, Turin, Italy, November 8–10, 1999. – С. 27–46.

Поступила 07.06.10