

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАРБИДА ВОЛЬФРАМА ГАЗОФАЗНОЙ КАРБИДИЗАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

А.М. Исонкин, А.А. Матвейчук, Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Украина

Показано, что структурирование композиционного алмазосодержащего слоя буровых коронок частицами нового вида износостойкого наполнителя - карбида вольфрама газофазной карбидизации, способствует повышению износостойкости породоразрушающего инструмента и эффективности его применения при бурении в твердых горных породах.

Результаты исследования рабочей поверхности алмазного бурового инструмента свидетельствуют о том, что при разрушении горной породы алмазами частицы шлама разрушенной горной породы избирательно воздействуют на окружающий алмазные зерна мягкий связующий материал матрицы. Для защиты от избирательного износа композиционных алмазосодержащих материалов в их состав часто вводят высокотвердые наполнители [1, 2].

Поэтому современные композиционные алмазосодержащие материалы (КАМ), которые широко применяются в практике изготовления алмазного бурового инструмента, чаще всего отличаются специфическим фазовым составом и размерами структурных составляющих [3].

Алмазы и высокопрочный износостойкий наполнитель в таких композициях в зависимости от их концентрации в КАМ занимают на рабочем торце инструмента определенную площадь, воспринимают на себя воздействие абразивных частиц шлама разрушенной горной породы и защищают тем самым мягкий связующий материал матрицы от абразивного изнашивания [4].

Относительно сопротивления абразивному изнашиванию гетерогенная структура матрицы буровой коронки из чередующихся алмазных зерен, зерен композиционного высокотвердого наполнителя различного размера, формы, твердости, прочности и износостойкости, расположенных в пластичной металлической связке, идеальна для регулирования процесса обнажения алмазов и повышения эффективности разрушения горных пород различной твердости и абразивности.

В практике изготовления КАМ с целью повышения износостойкости при абразивном изнашивании в их состав вводят частицы высокотвердых наполнителей типа SiC, Al₂O₃, B₄C, TiC, литого карбида вольфрама - рэлита WC+W₂C и др. [1, 5].

Авторы работы [6] в результате изучения процесса изнашивания карбидов TiC, NbC, WC в условиях внешнего трения установили, что максимальной износостойкостью обладает карбид вольфрама, на поверхности которого обнаружены довольно обширные области сглаженного материала без следов глубинного разрушения. Последнее обусловлено способностью WC выдерживать значительные знакопеременные нагрузки без выкрашивания поверхностных слоев, т.е. в карбиде вольфрама высокая твердость сочетается с достаточной прочностью, что является определяющим при усталостном виде износа.

Наполнитель - рэлит марки ЛКВ-"З"-3 (ТУУ 24.33876998-001-2006) с высокой твердостью и износостойкостью, который широко используют при производстве бурового инструмента, представляет собой сплав карбидов вольфрама WC+W₂C. Недостатком существующей технологии получения рэлита путем переплавки в электрических печах сопротивления или плазменно-дуговым методом является невозможность обеспечить однородность состава и структуры слитка, при размоле которого получают зерна с наличием пор и микротрещин, высокой хрупкостью и уровнем внутренних напряжений [7].

Целью данной работы было изучение возможности эффективного использования в качестве износостойкого наполнителя карбида вольфрама с равномерной структурой и высокой твердостью, полученного методом газофазной карбидизации исходного порошка вольфрама.

Получение зерен карбида вольфрама газофазной карбидизации (далее по тексту карбида

вольфрама) осуществляли из крупнозернистых порошков высокотемпературного вольфрама W. Процесс науглераживания проводили в метано-водородной газовой среде в высокотемпературной печи с графитовым нагревателем. Базовое содержание метана в водороде составляло 2 % по объему, а температура - 2200 °С. Для крупных порошков W содержание метана в водороде увеличивали до 4 % по объему, а температуру - до 2300 °С.

Микроструктуру частиц карбидов вольфрама исследовали на шлифах. С помощью оптического микроскопа на нетравленных частицах даже при слабом контрасте можно было видеть, что они состоят из ядра и оболочки (рис. 1, а). Используя энергодисперсионный рентгеновский анализ EDX, в соответствующих точках (рис. 1, б), был исследован химический состав отдельных фаз.

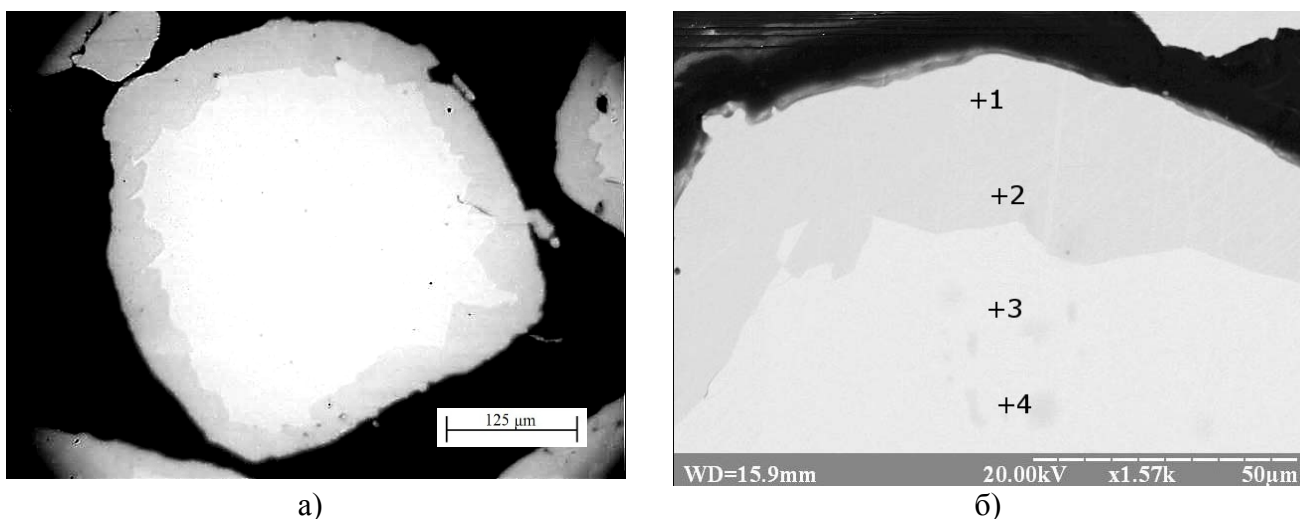


Рис. 1. Изображение нетравленного шлифа зерна WC-W₂C размером 315/200 мкм:
 а) вид зерна с ядром и оболочкой, увеличение 100[×] ;
 б) точки исследования химического состава фаз, увеличение 400[×]

Приведенные на рис. 2 результаты свидетельствуют о том, что в точках, которые находятся ближе к центру частицы, количество вольфрама возрастает. Это является характерным для W₂C.

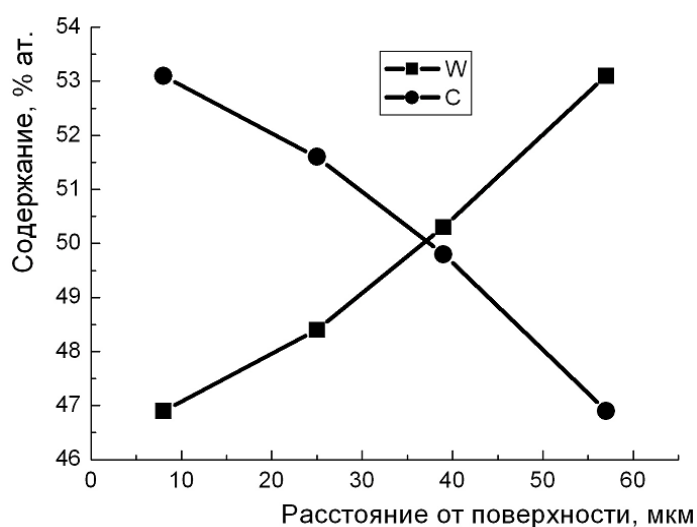


Рис. 2. Рост содержания вольфрама в частице порошка WC-W₂C по направлению к ее центру

На основании данных, приведенных на рис. 2, мы можем утверждать, что оболочка (темная фаза на рис. 1) является WC, а внутренний объем (светлая фаза) – W₂C.

Результаты исследований микротвердости с использованием прибора ПМТ-3 в темной и светлой зонах сечения зерна, приведенные в таблице, позволили установить, что науглероженные частицы вольфрама размером более 200 мкм представляют собой композиционный материал WC-W₂C, который состоит из двух фаз: оболочки – WC и объемного материала – W₂C. В крупных частичках WC+W₂C оболочка из WC является более прочной и пластичной.

Таблица. Микротвердость зерен карбида вольфрама газовой карбидизации и рэлита

Зернистость порошка карбида вольфрама, мкм	Фаза	Диагональ отпечатка, мкм	Микро-твердость, ГПа
80/40	WC	–	20,00
125/80	WC	–	22,00
250/200	темная (WC)	8,41	33,06
	светлая (W ₂ C)	9,11	30,52
315/250	темная (WC)	10,53	26,41
	светлая (W ₂ C)	9,41	29,57
Рэлит 250/200	–		18,89

Для исследований влияния размера зерен карбида вольфрама на износостойкость КАМ матрицы были выбраны алмазные буровые коронки типа БС-01 диаметром 76 мм с матрицей на основе шихты ВК6, пропитанной медью (рис. 3). Рабочий слой коронок оснащался синтетическими монокристаллическими алмазами марки АСТ160 зернистостью 355/300 мкм с относительной концентрацией 125.



Рис. 3. Буровая коронка БС-01

Для структурирования рабочего алмазосодержащего слоя буровой коронки использовали предварительно рассеянные фракции порошков карбида вольфрама зернистостью 80/63, 125/80, 160/125, 200/160 и 250/200 мкм. Содержимое зерен наполнителя в алмазосодержащем

слое как для экспериментальных, так и для серийных коронок составляло 6% от его объема.

В качестве базы сравнения использовали алмазные буровые коронки БС-01, серийно выпускаемые ГХП "Алмаз-Инструмент", рабочий слой которых структурирован зернами рэлита.

Изображение зерен рэлита и карбида вольфрама WC зернистостью 200/160 мкм, использованных для структурирования алмазосодержащего рабочего слоя буровых коронок, приведено на рис. 4.

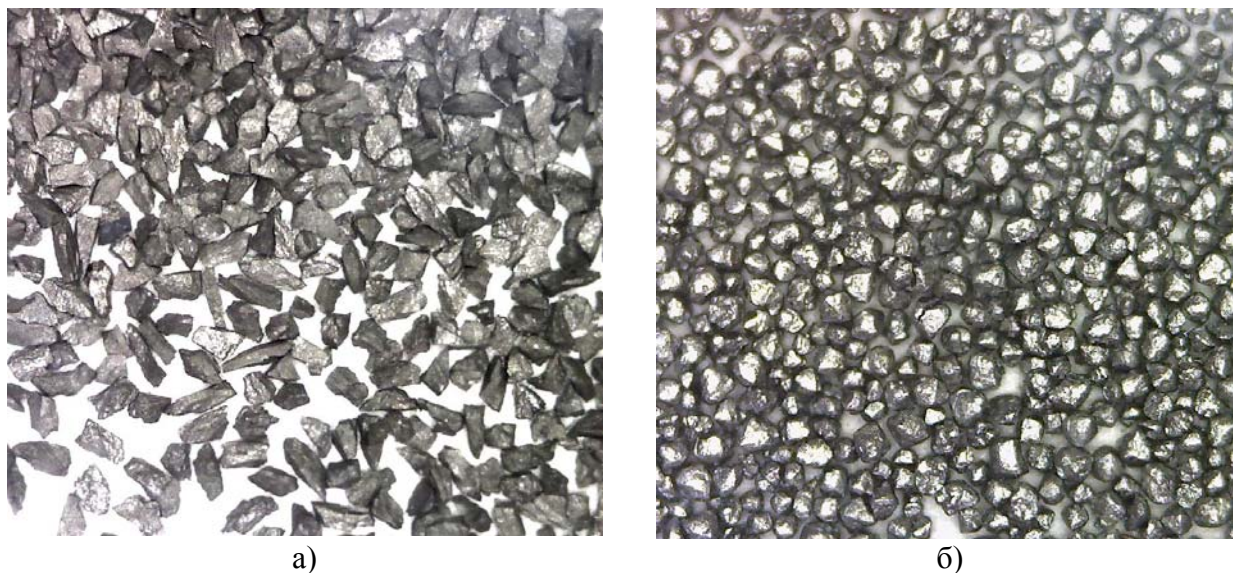


Рис. 4. Внешний вид зерен наполнителя зернистостью 250/200 мкм:
а) рэлита; б) карбида вольфрама (увеличение 200^x)

Исследования износостойкости буровых коронок проводили с использованием бурового стенда на базе станка модели 2Н58 путем бурения скважин в блоке Коростышевского гранита X категории буримости при частоте вращения 600 мин⁻¹ и осевой нагрузке в пределах 750 – 1500 даН с шагом изменения 250 даН. Интенсивность изнашивания рассчитывали как отношение линейного износа алмазосодержащего слоя коронки по высоте к величине проходки скважины за единичный опыт. Зависимости интенсивности изнашивания коронок от осевой нагрузки приведены на рис. 5.

Следует отметить, что для всех коронок характерна общая закономерность повышения интенсивности изнашивания при росте осевой нагрузки.

У коронок с наполнителем зернистостью 80/63 мкм была зафиксированная наибольшая величина интенсивности изнашивания матрицы коронки. Повышение осевой нагрузки с 750 до 1500 даН вызвало ее рост при использовании карбида вольфрама и рэлита в 1,5 раза (с 0,167 до 0,25 мм/м) и в 1,48 раза (с 0,193 до 0,286 мм/м) соответственно. Объяснением этому может служить неспособность мелких частиц наполнителя противостоять абразивному изнашиванию мягкой металлической связки алмазосодержащего слоя коронки большими частицами шлама, которые образуются при разрушении горной породы.

У коронок при использовании наполнителя - карбида вольфрама зернистостью 125/80, 160/125, 200/160 и 250/200 мкм повышение осевой нагрузки с 750 до 1500 даН приводило к росту интенсивности изнашивания их матрицы в 1,43 раза (с 0,154 до 0,220 мм/м), в 1,37 раза (с 0,133 до 0,182 мм/м), в 1,27 раза (с 0,121 до 0,154 мм/м) и в 1,25 раза (с 0,118 до 0,148 мм/м).

У коронок при использовании наполнителя - рэлита зернистостью 125/80, 160/125, 200/160 и 250/200 мкм повышение осевой нагрузки с 750 до 1500 даН приводило к росту интенсивности изнашивания их матрицы в 1,5 раза (с 0,178 до 0,267 мм/м), в 1,42 раза (с 0,148 до 0,210 мм/м), в 1,35 раза (с 0,129 до 0,174 мм/м) и в 1,34 раза (с 0,125 до 0,167 мм/м).

Наиболее эффективно работают те буровые коронки, которые обеспечивают максимальную для заданных режимов бурения механическую скорость при минимальной интенсивности их изнашивания. При этом, по нашему мнению, важную роль играет

соотношение зернистости используемых для оснащения алмазосодержащего слоя коронок синтетических алмазов (АСТ160 355/300 мкм) и наполнителя зернистостью 200/160 и 160/125 мкм, которое находится в пределах 1,5-2,0.

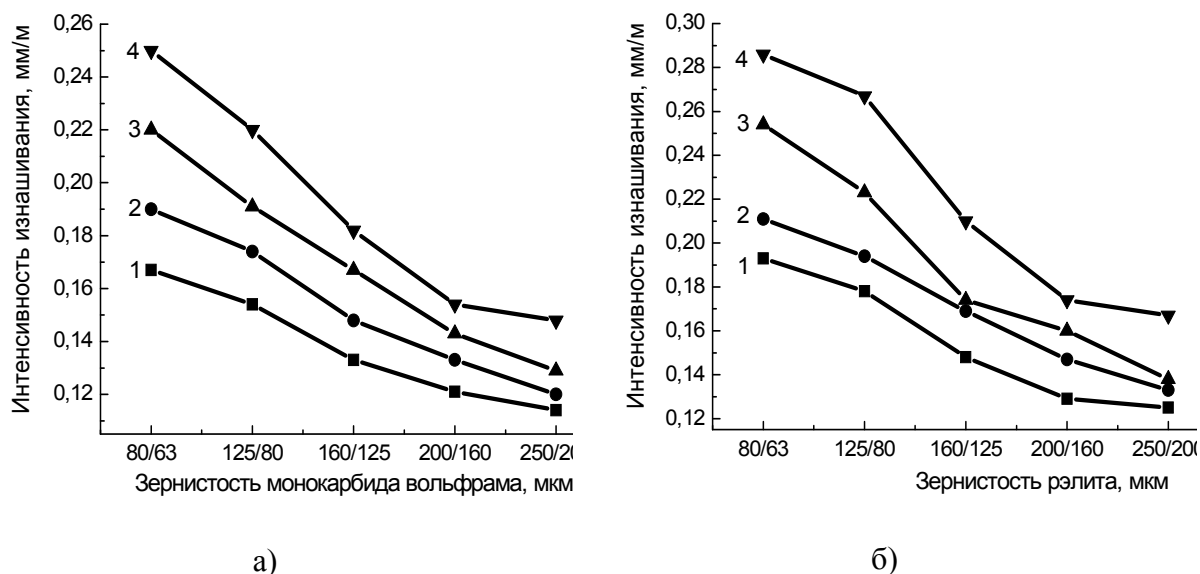


Рис. 5. Интенсивность изнашивания коронок БС-01, структурированных карбидом вольфрама и рэлитом разной зернистости при частоте вращения 600 мин^{-1} и осевой нагрузке: 1) 750 даН, 2) 1000 даН, 3) 1250 даН, 4) 1500 даН

В качестве примера подтверждением вышеизложенного может быть характерный вид износа рабочей поверхности коронок, алмазосодержащий слой которых структурирован зернами карбида вольфрама зернистостью 200/160 мкм, приведенный на рис. 6.

Как видно из рис. 6, в случае использования в качестве наполнителя карбида вольфрама зернистостью 200/160 мкм микрорельеф рабочей поверхности коронок развит, что свидетельствует об оптимальной степени обнажения алмазов и эффективном их использовании в качестве породоразрушающих элементов. Подтверждением этого является показатель эффективности работы буровых коронок.

Приняв за показатель эффективности работы буровых коронок отношение механической скорости бурения $V_{\text{мех}}$ к интенсивности изнашивания I , рассмотрим зависимости, приведенные на рис. 7. Данные, приведенные на рис. 7, свидетельствуют о том, что наиболее эффективными из числа испытанных при бурении Коростышевского гранита являются буровые коронки с износостойким наполнителем - карбидом вольфрама зернистостью 160/125 и 200/160 мкм.

При равных значениях зернистости наполнителя на всех соотношениях параметров режима бурения показатели эффективности у коронок, алмазосодержащий слой которых структурирован зернами карбида вольфрама, выше, чем у коронок, алмазосодержащий слой которых структурирован зернами рэлита.

Наиболее высокие показатели эффективности показали коронки, алмазосодержащий слой которых с алмазами АСТ160 зернистостью 355/300 мкм структурирован зернами наполнителя размером 200/160 мкм. Это свидетельствует о том, что достигнуто оптимальное соотношение зернистостей используемых для оснащения коронок алмазов и износостойкого наполнителя.

При относительном уменьшении и увеличении зернистости наполнителя соответственно 160/125 и 250/200 мкм значения показателя эффективности снижаются. Несмотря на повышение износостойкости коронок, алмазосодержащий слой которых структурирован наполнителем зернистостью 250/200 мкм, показатель эффективности их применения снижается из-за снижения достигнутой ими механической скорости бурения. Это может свидетельствовать о недостаточном обнажении алмазов на рабочем торце, что приводит к нарушению основного

принципа работы алмазного бурового инструмента, заключающегося в обеспечении соотношения износостойкости алмазов и мягкого связующего материала матрицы.

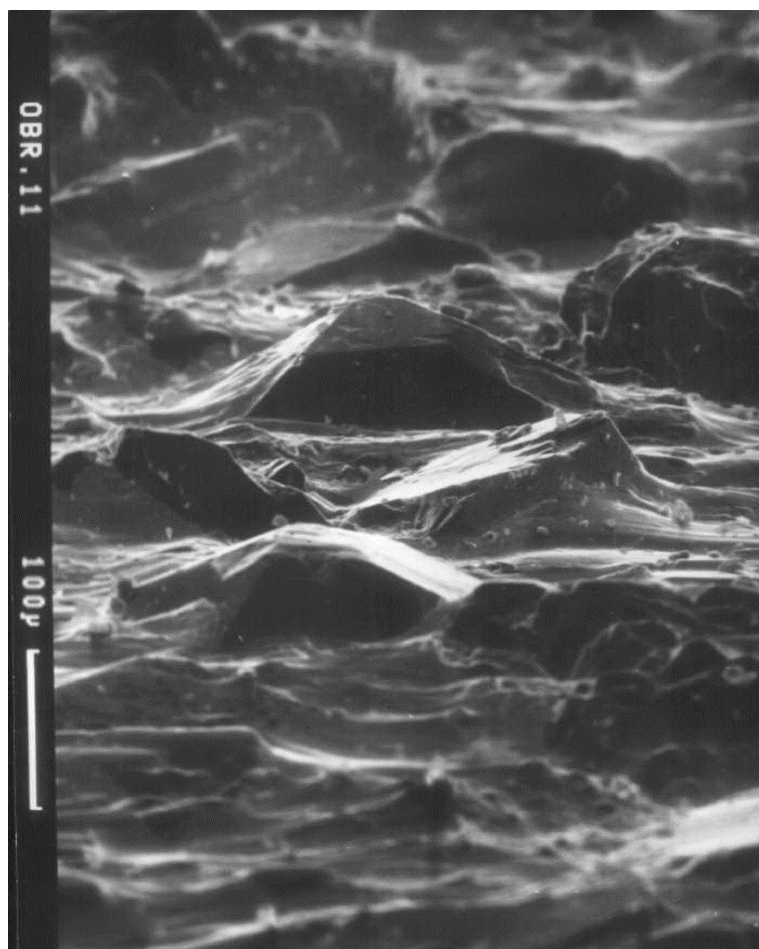


Рис. 6. Характерный вид степени обнажения алмазов на рабочей поверхности коронки, алмазосодержащий слой которой структурирован зернами монокарбида вольфрама зернистостью 200/160 мкм

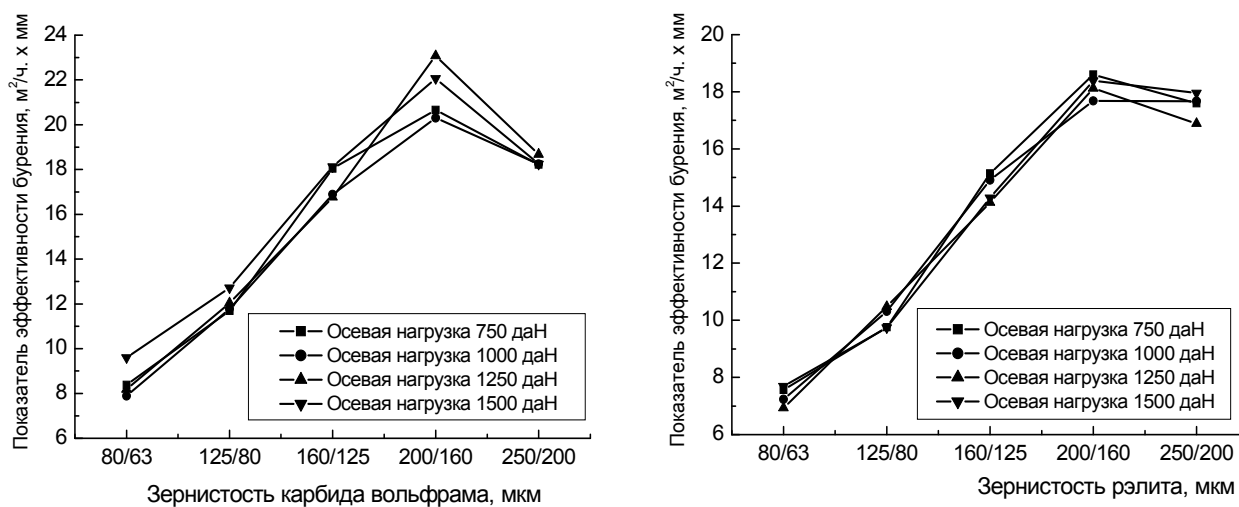


Рис. 7. Зависимость показателя эффективности бурения коронками типа БС-01, структурированными карбидом вольфрама и рэлитом разной зернистости, от осевой нагрузки при частоте вращения 600 мин⁻¹

Установлено, що використання в качестве наполнителя зерен монокарбида вольфрама с равномерной структурой и высокой твердостью, полученного методом газовой карбидизации исходного порошка вольфрама, способствует повышению износостойкости композиционных алмазосодержащих материалов матриц буровых коронок и эффективности их применения.

Список литературы

1. Верещагин В.А., Журавлев В.В. Композиционные алмазосодержащие материалы и покрытия. – Минск: Наука і тэхніка, 1991. – 208 с.
2. Тучинский Л.И. Композиционные материалы, получаемые методом пропитки. – М.: Металлургия, 1986. – 208 с.
3. Сверхтвердые материалы. Получение и применение. Монография в 6 томах / Т. 3 Композиционные инструментальные материалы / Под общей редакцией Н.В.Новикова. – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2005. – 280 с.
4. Зыбинский П.В., Богданов Р.К., Исонкин А.М., Загора А.П. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении – Донецк: Норд-Пресс, 2007. – 244 с.
5. Бондаренко В.П., Исонкин А.М., Ботвинко В.П., Юрчук Н.А. Влияние легирования композиционного наполнителя на износостойкость алмазосодержащего материала матрицы породоразрушающего инструмента // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. трудов. – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2012. – Вып. 15. – с. 51-55
6. Алексеев В.И., Ковальченко М.С. Некоторые закономерности изнашивания металлов и металлоподобных карбидов в вакууме при низких температурах // ФХММ. 1971. - Т.7, №3. – с. 38–42.
7. Волкогон В.М., Аврамчук С.К., Котляр Д.А., Кузьменко Н.Н., Кулак Л.Д. Получение, структура и свойства распыленных порошков сплавов карбидов вольфрама WC+W₂C // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. трудов. – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2010. – Вып. 13. – с. 414–419

ПРО ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПРОФІЛІТОВИХ СЛАНЦІВ ОВРУЦЬКОЇ СЕРІЇ У ДАВНЬОРУСЬКИЙ ЧАС

І.С. Нікітенко, Н.О. Гарбуз, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», Україна

На основі петрографічного аналізу сировини архітектурних елементів та прясел давньоруського часу робляться висновки про особливості використання різних відмін пірофілітових сланців овруцької серії, що видобувалися поблизу м. Овруч за часів Київської Русі. Встановлюються петрографічні відмінності між сланцями, що застосовувались у будівництві та для виробництва дрібних виробів.

В історії використання мінерально-сировинної бази України особливе місце займає видобуток пірофілітових сланців і кварцитів овруцької серії за часів Київської Русі. На сьогодні археологами в районі м. Овруч Житомирської області виявлено значну кількість стародавніх відкритих виробок [2]. Пірофілітові сланці та кварцити використовувались у будівництві, проте найбільше було розвинуте виробництво дрібних виробів. Зі сланцю виготовлялися пряслиця (рис. 1), прикраси (намистини, хрестики, іконки) та інші вироби. При зведенні кам'яних споруд із плит сланцю будували підлоги, різьбили монументальні рельєфи та саркофаги. Пірофілітові вироби були досить цінним товаром. Сьогодні встановлено дуже широке розповсюдження виробів з овруцького сланцю по всій території Київської Русі та за її межами [2].

Пірофілітові сланці та кварцити у стратиграфічному плані відносяться до відкладів товчачівської світи овруцької серії. Згідно з діючою кореляційною хроностратиграфічною схемою, світа належить до мезопротерозою та має вік близько 1740 млн. років [1]. Серед