

УДК 622.24 (085). (477.62)

А.М. Исонкин<sup>1</sup>, А.А. Матвейчук<sup>1</sup> С.И. Джелялов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев,

<sup>2</sup> Региональное высшее учебное заведение "Крымский инженерно-педагогический университет", г. Симферополь

Тел./Факс: +38(044)4675623; E-mail: Almis343@ukr.net

## ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАРБИДА ВОЛЬФРАМА ГАЗОФАЗНОЙ КАРБИДИЗАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ

*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.*

**Ключевые слова:** карбид вольфрама, газофазная карбидизация, наполнитель, микротвердость, композиционный алмазосодержащий материал, буровая коронка.

### Введение

Современные композиционные алмазосодержащие материалы (КАМ) широко применяются в практике изготовления алмазного бурового инструмента и чаще всего отличаются специфическим фазовым составом и размерами структурных составляющих, наличием износостойких покрытий и наполнителей [1].

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 [2].

В практике изготовления алмазных композиционных материалов с целью повышения износостойкости при абразивном изнашивании в их состав вводят частицы высокотвердых наполнителей типа SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, W<sub>4</sub>C, TiC литого карбида вольфрама - рэлита WC+W<sub>2</sub>C и др. [3, 4].

Авторы работы [5] изучали процесс изнашивания карбидов TiC, NbC, WC в условиях внешнего трения и 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 используют при производстве бурового инструмента, представляет собой сплав карбидов вольфрама WC+W<sub>2</sub>C. 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 высокой хрупкостью, уровнем внутренних напряжений, наличием пор и микротрещин [6].

**Цель данной работы** - изучение возможности эффективного использования в качестве износостойкого наполнителя карбида вольфрама с равномерной структурой и высокой твердостью, полученного методом газовой карбидизации исходного порошка вольфрама.

#### **Основное содержание и результаты работы**

Получение зерен карбида вольфрама газовой 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 видеть, что они состоят из ядра и оболочки (рис.1, а).

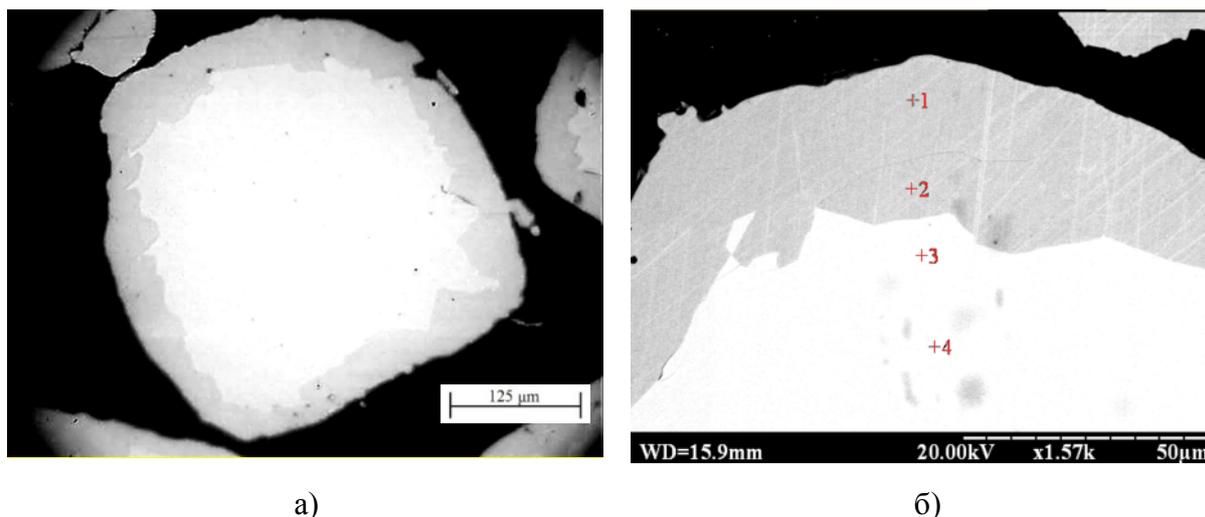


Рис. 1. Изображение нетравленного шлифа зерна WC-W<sub>2</sub>C размером 315/200 мкм: а) вид зерна с ядром и оболочкой, увеличение 100<sup>×</sup>; б) точки исследования химического состава фаз, увеличение 400<sup>×</sup>

С помощью энергодисперсионного рентгеновского анализа EDX в соответствующих точках (рис. 1, б), был исследован химический состав отдельных фаз. Приведенные на рис. 2 результаты свидетельствуют о том, что в точках, которые находятся ближе к центру частицы, количество вольфрама возрастает. Это является характерным для W<sub>2</sub>C.

На основании данных, приведенных на рис. 2, мы можем утверждать, что оболочка (темная фаза) на рис.1 является WC, а внутренний объем (светлая фаза) – W<sub>2</sub>C.

Результаты исследований микротвердости с использованием прибора ПМТ-3 в темной и светлой зонах сечения зерна, приведенные в таблице, также подтвердили предположение, что науглероженные частицы вольфрама размером более 200 мкм

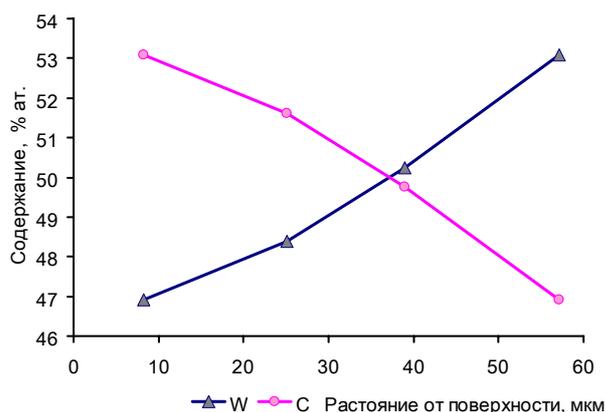


Рис. 2. Рост содержания вольфрама в частице порошка WC-W<sub>2</sub>C по направлению к ее центру

представляют собой композиционный материал WC-W<sub>2</sub>C, который состоит из двух фаз: оболочки – WC и объемного материала – W<sub>2</sub>C. В крупных частичках WC+W<sub>2</sub>C оболочка из WC являются более прочной и пластичной.

Для исследований влияния размера зерен монокарбида вольфрама на износостойкость композиционного алмазосодержащего материала матрицы были выбраны алмазные буровые коронки типа БС-01 диаметром 76 мм с матрицей на основе шихты ВК6, пропитанной медью методом инфильтрации. (рис. 3). Рабочий слой

коронки оснащался синтетическими монокристаллическими алмазами марки АСТ160 зернистостью 355/300 мкм с относительной концентрацией 125.

Таблица 1. Микротвердость зерен карбида вольфрама газофазной карбидизации и рэлита

Зернистость порошка карбида вольфрама, мкм	Фаза	Диагональ отпечатка, мкм	Микротвердость, ГПа
80/40	WC	–	20,00
125/80	WC	–	22,00
200/160	темная (WC)	8,41	33,06
	светлая (W <sub>2</sub> C)	9,11	30,52
250/200	темная (WC)	10,53	26,41
	светлая (W <sub>2</sub> C)	9,41	29,57
Релит 250/200	–	–	18,89



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. Содержание 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 зернистостью 200/160 мкм, использованных для структурирования алмазосодержащего рабочего слоя буровых коронок, приведено на рис. 4.

Исследования износостойкости буровых коронок

нок проводили с использованием бурового станда на базе станка модели 2Н58 путем бурения скважин в блоке коростышевского гранита X категории буримости при частоте вращения  $600 \text{ мин}^{-1}$  и осевой нагрузке в пределах 750 – 1500 даН с шагом изменения 250 даН. Интенсивность изнашивания рассчитывали как отношение линейного износа по высоте алмазосодержащего слоя коронки к величине проходки скважины за единственный опыт.

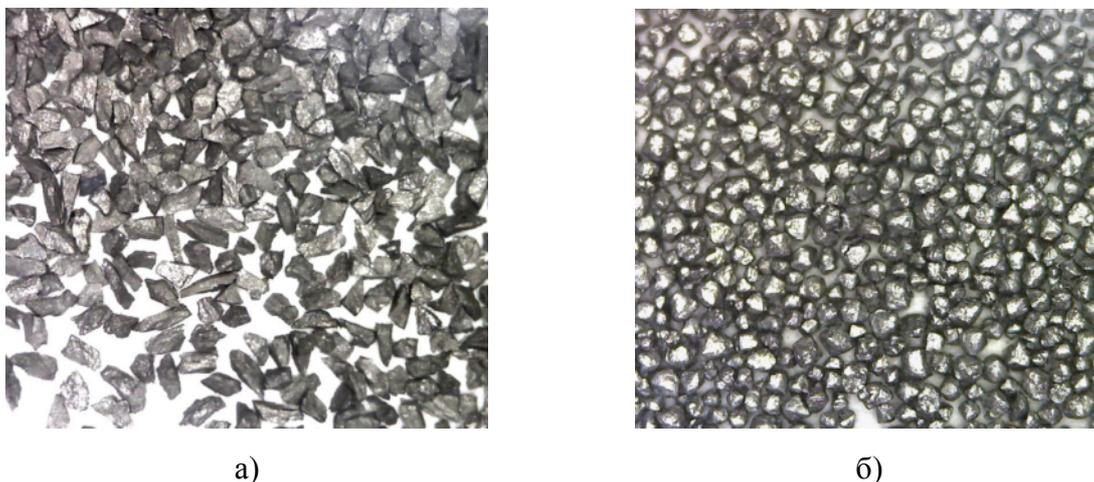


Рис. 4. Вид зерен наполнителя зернистостью 200/160 мкм: а) рэлиита ; б) карбида вольфрама (увеличение  $200\times$ )

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

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

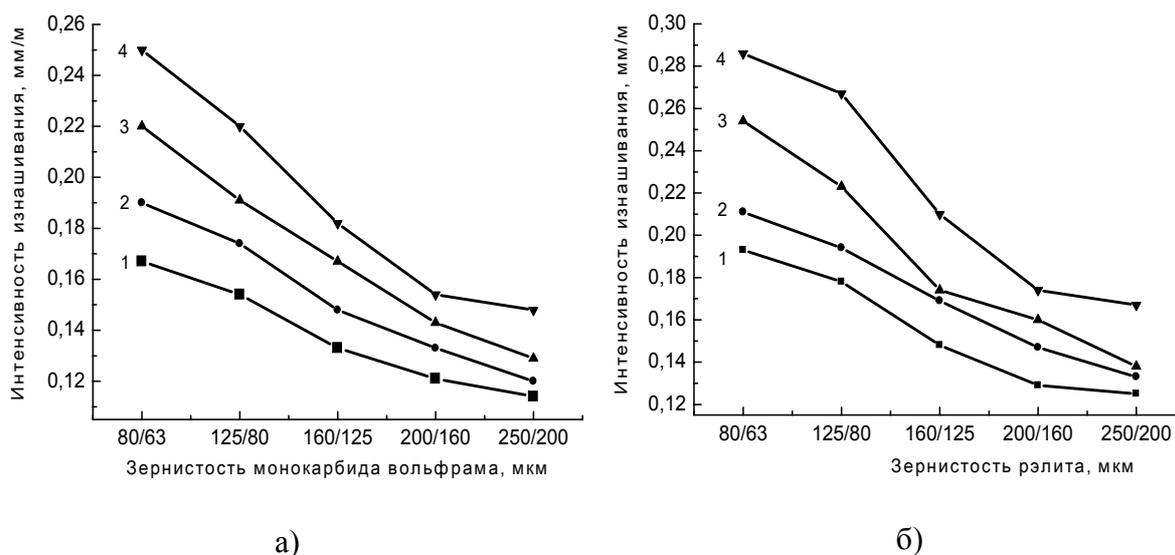


Рис. 5. Интенсивность изнашивания коронок БС-01, структурированных карбидом вольфрама и рэлитом разной зернистости при частоте вращения  $600 \text{ мин}^{-1}$  и осевой нагрузке: 1) 750 даН, 2) 1000 даН, 3) 1250 даН 4) 1500 даН

У коронок с наполнителем WC 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 монокарбида 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.

В качестве примера подтверждением вышеизложенного может быть характерный вид износа рабочей поверхности коронок, алмазосодержащий слой которых структурирован зернами рэлита и карбида вольфрама зернистостью 200/160 и 250/200 мкм, приведенный на рис. 6.

Как видно из рис. 6, в случае использования как наполнителя карбида вольфрама зернистостью 200/160 и 160/125 мкм микро-рельеф 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  $V_{мех}$  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

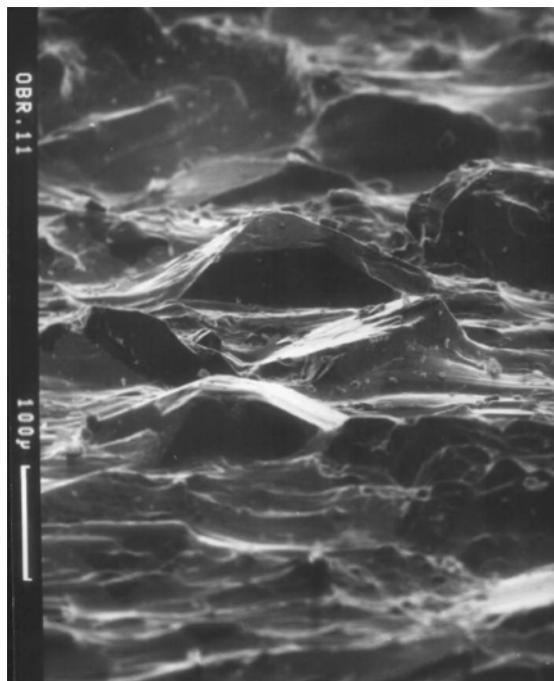


Рис.6. Характерный вид степени обнажения алмазов на рабочей поверхности коронки, алмазосодержащий слой которой структурирован зернами карбида вольфрама зернистостью 200/160 мкм

бурении коростышевского гранита являются буровые коронки с износостойким наполнителем - крупнозернистым 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 структурировано зернами рэлита.

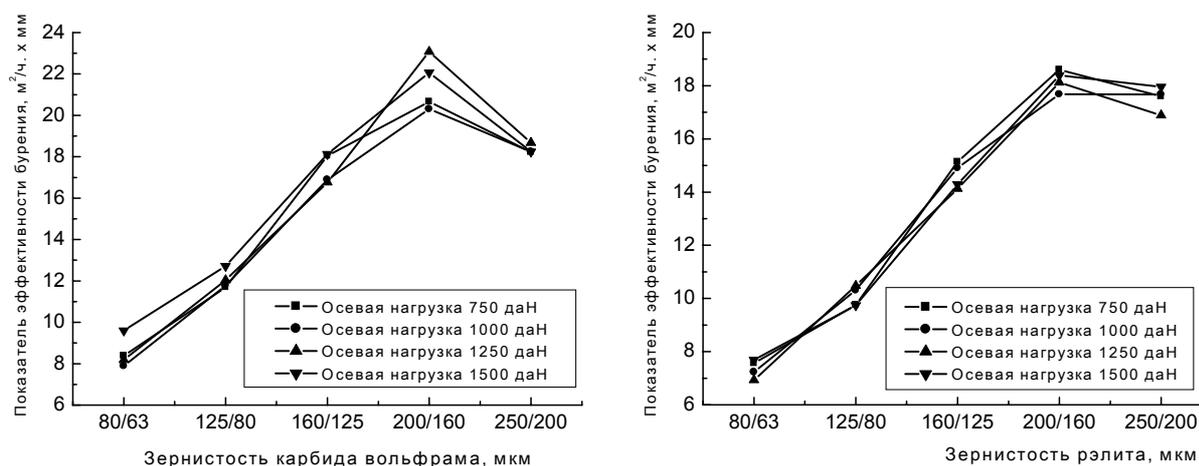


Рис. 7. Зависимость показателя эффективности бурения коронками типа БС-01, структурированными карбидом вольфрама и рэлитом разной зернистости, от осевой нагрузки при частоте вращения  $600 \text{ мин}^{-1}$

### Заключение

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 мягкой связующей материала матрицы.

Установлено, что использование в качестве наполнителя зерен карбида 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. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: монография: в 6 т / под общей редакцией Н.В.Новикова. – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2005. - Т.3: Композиционные инструментальные материалы. – 2005. - 280 с.
2. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении [П.В. Зыбинский, Р.К. Богданов, А.М. Исонкин, А.П. Загора]. – Донецк: Норд-Пресс, 2007. – 244 с.
3. Верещагин В.А. Композиционные алмазосодержащие материалы и покрытия / В.А. Верещагин, В.В. Журавлев. – Минск: Наука и техника, 1991. - 208 с.
4. Влияние легирования композиционного наполнителя на износостойкость алмазосодержащего материала матрицы породоразрушающего инструмента / [В.П. Бондаренко, А.М. Исонкин, В.П. Ботвинко, Н.А. Юрчук] // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. трудов. — 2012. – Вып. 15. – С. 51-55.
5. Алексеев В.И. Некоторые закономерности изнашивания металлов и металлоподобных карбидов в вакууме при низких температурах / В.И. Алексеев, М.С. Ковальченко // ФХММ. - 1971. - Т.7, №3. – с. 38-42.
6. Получение, структура и свойства распыленных порошков сплавов карбидов вольфрама WC+W<sub>2</sub>C / [Волкогон В.М., Аврамчук С.К., Котляр Д.А. и др.] // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. трудов. — 2010. — Вып. 13. – С. 414-419.

Надійшла до редакції 28.01.2013.

**О.М.Исонкін, О.О.Матвійчук  
С.І.Джелялов**

**ОЦІНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КАРБІДУ ВОЛЬФРАМУ ГАЗОФАЗНОЇ КАРБІДІЗАЦІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ АЛМАЗОВІСНИХ МАТЕРІАЛІВ**

*Показано, що структурування композиційного алмазовмісного шару бурових коронок частками нового виду зносостійкого наповнювача - карбїду вольфраму газофазної карбїдїзації, сприяє підвищенню зносостійкості породоруйнуючого інструменту та ефективності його застосування при бурінні в твердих гірських породах.*  
**Ключові слова:** карбїд вольфраму, газофазна карбїдїзація, наповнювач, мікротвердість, композиційний алмазовмісний матеріал, бурова коронка.

**A. Isonkin, A. Matviichuk,  
S. Dzheljalov**

**ESTIMATION OF GAS PHASE TUNGSTEN CARBIDE CARBIDIZATION TO ENHANCE WEAR RESISTENCE OF DIAMOND CONTAINING COMPOSITE MATERIALS**

*It is shown that the structuring of composite diamond containing layer of drill bits by new types of wear resistant staff material - tungsten carbide of gas phase carbidization promotes the wear resistance enhance of rock distraction tools and its application in hard rock drilling*  
**Key words:** tungsten carbide, gas phase carbidization, staff material, composite diamond contained layer, drill bit