

7. Самсонов В. Г., Винницкий И. М. Тугоплавкие соединения. Справочник. – М: Металлургия. – 1976. – 560 с.
8. Карапетянц М. Х., Карапетянц М. Л. Основные термодинамические константы неорганических и органических веществ. – М.: Химия. – 1968. – 470 с.
9. Рябин В. А., Остроумов М. А., Свит Т. Ф. Термодинамические свойства веществ. Справочник. «Химия». – 1977. – 389 с.
10. Гуревич Л. В., Вейц И. В., Медведев В. А. и др. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. М.: Наука. – 1982. – 560 с.

Поступила 22.03.12

УДК 622.24 (085).(477.62)

В. П. Бондаренко, член-корр. НАН Украины; **В. П. Ботвинко**, **А. М. Исонкин**,
Н. А. Юрчук, кандидаты техн. наук

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

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩЕГО МАТЕРИАЛА МАТРИЦЫ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Исследовано влияние применяемых в качестве износостойкого наполнителя легирующих микродобавок на изменение свойств гранул твердого сплава ВКб и повышение износостойкости материала матрицы алмазных буровых коронок.

Ключевые слова: легирование, гранула, зернистость, прочность, микротвердость, износостойкость, буровые коронки.

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 алмазных композиционных материалов в их состав часто вводят высокотвердые наполнители [1; 2].

Относительно сопротивления абразивному износу и обеспечению высокой эффективности разрушения горной породы гетерогенная структура матрицы буровой коронки из регулярно чередующихся алмазных зерен, гранул композиционного высокотвердого наполнителя различного размера, формы, твердости, прочности и износостойкости и пластичной связки идеальна для регулирования процесса обнажения алмазов и повышения эффективности разрушения горных пород различной твердости и абразивности.

В качестве композиционного высокотвердого наполнителя можно использовать гранулы из тугоплавкого металла (кобальта, никеля) и карбида вольфрама WC, который хорошо смачивается медью и его сплавами. В зависимости от содержания и зернистости карбида вольфрама WC в гранулах их изготавливают различного размера, формы, твердости, прочности и износостойкости [3; 4].

Результаты анализа различных исследований [5–7] свидетельствуют о возможности получения мелкозернистых сплавов WC–Co высокой твердости и износостойкости при использовании методов легирования карбидами TiC, VC, TaC и др.

Исходя из изложенного, основная цель настоящего исследования – изучить влияние легирования гранул WC–Co, используемых в качестве износостойкого наполнителя матриц алмазных буровых коронок, на изменение их физико-механических свойств и износостойкость породоразрушающего инструмента.

Методика эксперимента и исходные материалы

В качестве исходного сырья для изготовления спеченных гранул использовали серийную порошковую смесь ВК6 (СТП 00196144-0727-2004) производства ОАО «Кировградский завод твердых сплавов».

Мокрое измельчение твердосплавных смесей с легирующими микродобавками выполняли в килограммовом барабане, футерованном твердосплавными пластинами, в среде спирта. В качестве размольных тел использовали твердосплавные шары диаметром 6–10 мм. Соотношение массы смеси и шаров составляло 1:20. Продолжительность измельчения – 150 ч. Зерновой состав смесей после измельчения и перемешивания получили следующий: средний размер зерна WC (\bar{d}_{wc}) = 0,85 мкм, содержание зерен размером 0,5–3,0 мкм – 98 %.

Приготовленные смеси замешивали на 5 %-ном растворе синтетического каучука в бензине, сушили в противнях в сушильном шкафу в течение 2–4 ч. при температуре около 100 °С, затем протирали через сито с ячейками размером 350 мкм и брикетировали путем прессования. Брикетты протирали через сито с ячейками размером 2 мм. Полученные гранулы обкатывали на вибросите с ячейками размером 100 мкм. В результате получили гранулы крупной (не прошедшую через сито 100) и мелкой фракций (прошедшую через сито 100) каждого сплава. Далее гранулы сушили в сушильном шкафу в течение 24 ч при температуре около 120 °С. Партии гранул зернистостью 250/200 мкм и экспериментальные образцы диаметром 12 мм и высотой 2–4 мм получили путем предварительного спекания в среде водорода при температуре 500 и 900 °С с выдержкой 45 мин для выжигания каучука и конечного спекания в вакууме при температуре 1350–1450 °С и выдержке 5–6 мин.

Структурные характеристики сплава определяли по шлифу. Количество свободно выделившегося углерода в структуре и пористость сплавов определяли по ГОСТ 9391-80 [8] с помощью оптического микроскопа МИМ-6. Распределение кобальтовой фазы и зерен карбида вольфрама по размерам, наличие η_1 -фазы – с помощью микроскопа МИМ-8. Распределение зерен WC по размерам оценивали точечным методом Глаголева [9].

Микротвердость $HV_{0,2}$ гранул определяли прибором ПМТЗ при нагрузке 2Н, плотность контрольных образцов ρ (г/см³) – методом гидростатического взвешивания по ГОСТ 20018-74 [10], твердость по Роквеллу HRA – на твердомере модели. TP по ГОСТ 20017-74 [11], коэрцитивную силу H_{cm} , (кА/м) – прибором «Кобальт-1» по ГОСТ 24916-81 [12], разрушающую нагрузку – с помощью установки DDA.

Для лабораторных исследований износостойкости алмазосодержащих материалов матриц буровых коронок по стандартной технологии их производства изготовили экспериментальные образцы породоразрушающих элементов бурового инструмента в виде вставок диаметром 10 мм и высотой 12 мм из шихты ВК6, пропитанной медью марки М1, с частицами композиционного наполнителя – спеченных гранул ВК6 зернистостью 250/200 мкм, легированных интерметаллидами иттрия Y и гадолиния Gd, карбидами тантала Ta и ванадия V.

Все экспериментальные образцы были оснащены синтетическими алмазами АС 125Т зернистостью 400/315 мкм. Относительная концентрация алмазов в образцах составляла 125 %, содержание композиционного наполнителя в виде гранул в образцах – 6 % общего объема. Износостойкость вставок исследовали путем разрушения серого абразивного песчаника (прочность – 150–160 МПа, абразивность по методу Л. И. Барона и А. В. Кузнецова–40) с использованием стенда на основе станка ШПС-350 при скорости вращения 300 мин⁻¹ и нагрузке 200 Н. Интенсивность изнашивания определяли как отношение изношенной массы образца к объему разрушенной породы.

Результаты исследований их обсуждение

В процессе исследований установили, что оптимальная температура спекания гранул составляет 1400 °С при выдержке 5–6 мин. При температуре спекания ниже 1400 °С гранулы были хрупкими, пористыми, некруглой формы. При температуре более 1400 °С в структуре гранул появлялись крупные зерна карбида вольфрама, что привело к снижению физико-механических свойств гранул.

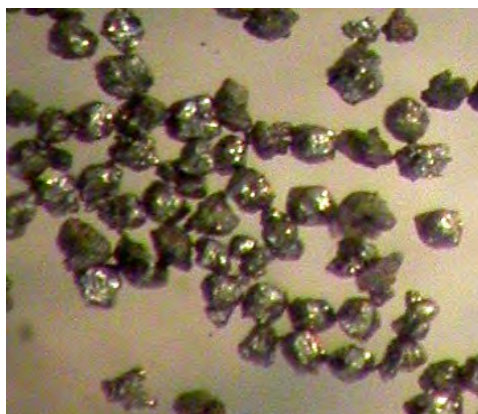


Рис. 1. Внешний вид спеченных гранул твердого сплава ВК6 зернистостью 250/200 мкм, $\times 20$

В процессе спекания при оптимальной температуре гранулы образовывали конгломераты. В процессе их деконгломерации гранулы овализовывались. Внешний вид полученных гранул показан на рис. 1.

Результаты исследования структурных параметров гранул и контрольных образцов из легированного и нелегированного твердого сплава ВК6, спеченных в вакууме при температуре 1400 °С и выдержке 5–6 мин, приведены в табл.1 и 2.

Физико-механические свойства гранул и контрольных образцов из легированного и нелегированного твердого сплава ВК6, спеченных в вакууме при температуре 1400 °С и выдержке 5–6 мин, приведены в табл. 3.

Таблица 1. Структурные параметры гранул из легированного и нелегированного твердого сплава ВК6, спеченных в вакууме при температуре 1400 °С и выдержке 5–6 мин

Марка сплава	Толщина кобальтовой прослойки, мкм	Содержание графита, % (об.)	Процентное содержание зерен WC по классам зернистости, мкм							
			0,5	1	2	3	4–5	6–7	8–10	11–20
ВК6-0,01 % VC	0,2–0,5	–	20	42	18	12	6	2	–	–
ВК6-0,02 % VC	0,2–0,5	–	16	50	24	8	2	–	–	–
ВК6-0,01 % TaC	0,2–0,5	–	12	43	21	15	9	–	–	–
ВК6-0,02 % (TaC+VC)	0,2–0,5	–	10	50	22	18	5	–	–	–
ВК6-0,01 % Co ₅ Gd	0,2–0,5	–	11	53	18	14	4	–	–	–
ВК6-0,01 % Co ₅ Y	0,2–0,5	–	–	52	21	16	10	2	1	–
ВК6	0,2–0,5	следы	29	29	19	10	5	3	1	4

Таблица 2. Результаты структурных параметров контрольных образцов из легированного и нелегированного твердого сплава ВК6, спеченных в вакууме при температуре 1400 °С и выдержке 5–6 мин

Марка сплава	Содержание пор до 50 мкм, % (об.)	Содержание графита, % (об.)	Процентное содержание зерен WC по классам зернистости, мкм						
			0,5	1	2	3	4–5	6–7	8–10
ВК6-0,01 % VC,	В-5 04	следы	–	45	24	11	12	1	1
ВК6-0,02 % VC,	Д-3 04	–	21	41	15	14	9	–	–
ВК6-0,01 % TaC	Д-3 04	следы	–	45	22	16	14	3	–
ВК6-0,02 % (TaC+VC)	В-6 0,8	0,2	–	46	24	19	10	1	–
ВК6-0,01 % Co ₅ Gd	Д-4 0,8	следы	–	36	20	20	17	5	–
ВК6-0,01 % Co ₅ Y	Д-3 0,4	0,1	–	34	20	20	21	4	–
ВК6	Д-3 0,4	следы	18	41	19	17	5	–	–

Таблица 3. Физико-механические свойства гранул и контрольных образцов (цилиндров) из легированного и нелегированного твердого сплавов ВК6, спеченных в вакууме при температуре 1400 °С и выдержке 5–6 мин

Свойства	Значение для марки сплава						
	ВК6 – VC 0,01 %	ВК6 – VC 0,02 %	ВК6 – TaC 0,01 %	ВК6 – (TaC+VC) 0,02 %	ВК6 – GdC 0,01 %	ВК6 – Y 0,01 %	ВК6
Разрушающая нагрузка P , Н	50,9	43	50,5	44,7	51,4	31,7	42,6
Микротвердость $HV_{0,2}$, ГПа	28,9	19,8	22	24,1	19,1	17,1	15,1
Твердость HRA *	89,8	92,1	89,5	90,2	88,1	89,4	91,1
Плотность ρ , (г/см ³) *	14,8	15	14,7	14,5	14,6	14,9	14,9
Коэрцитивная сила H_{cm} , кА/м*	10,4	15	12,3	13,4	9,0	11,6	18,4

* Контрольные образцы в виде цилиндров.

У всех полученных гранул не наблюдалось крупных пор, свободного углерода и η_1 -фазы, пористость составляла 0,02–0,2 % об, содержание зерен WC размером 1 мкм – 52–64 %. Сплавы, легированные VC, более мелкозернистые.

В результате исследований установлено, что наибольшую микротвердость имеют гранулы со средним размером зерна WC 1,44 мкм и содержанием фракции зерен WC размером до 0,5 мкм – 20 %.

В результате легирования сплавов карбидами VC, TaC и интерметаллидом Co_5Gd повышается разрушающая нагрузка при сжатии и микротвердость. Для гранул из сплавов ВК6, легированных 0,01 % VC, TaC и Co_5Gd , характерны повышенные разрушающая нагрузка при сжатии и микротвердость по сравнению с нелегированным сплавом ВК6.

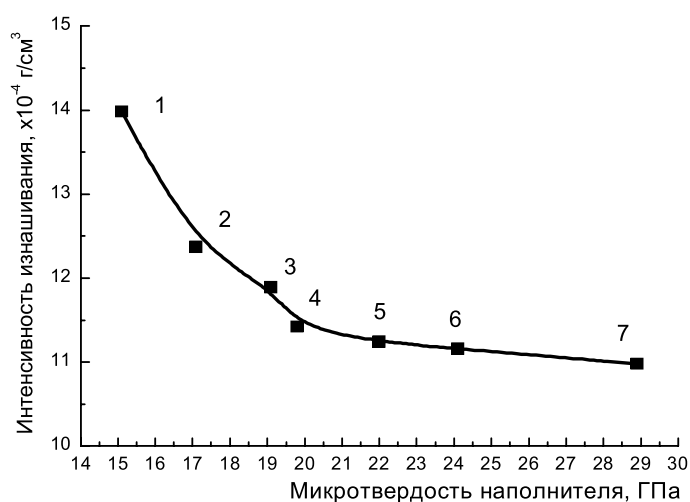


Рис. 2. Зависимость интенсивности изнашивания породоразрушающих элементов бурового инструмента от микротвердости наполнителя: 1 – ВК6; 2 – ВК6 + 0,01 % Y; 3 – ВК6 + 0,01 % GdC; 4 – ВК6 + 0,02 % VC; 5 – ВК6 + 0,01 % TaC; 6 – ВК6 + 0,02 % (TaC+VC); 7 – ВК6 + 0,01 % VC

интенсивности изнашивания породоразрушающих элементов бурового инструмента, показаны на рис. 2.

Разрушающая нагрузка при сжатии гранул из сплава ВК6, легированного 0,02 % VC (0,01 % TaC + 0,01 % VC), соответствует этому показателю нелегированного сплава ВК6. Для гранул из сплава ВК6, легированного 0,01 % VC, TaC, разрушающее усилие при сжатии превышает эту характеристику нелегированного сплава ВК6 на 18 %.

Данные, приведенные в табл.1–3, свидетельствуют о том, что из исследованных составов наиболее перспективны для использования в качестве композиционного наполнителя матриц буровых коронок гранулы из сплава ВК6, легированного карбидами тантала Ta и ванадия V.

Результаты исследований элементов бурового инструмента,

Как видно из данных рис. 2, повышение микротвердости гранул, находящихся в составе материала матриц буровых коронок, способствует повышению его износостойкости. Так, повышение микротвердости с 15,1 ГПа нелегированных гранул из сплава ВК6 до 17,1; 19,1; 22 и 28,9 ГПа гранул из сплава ВК6, легированного соответственно интерметаллидами иттрия Y и гадолиния Gd, карбидами тантала Ta и ванадия V, способствует снижению интенсивности их изнашивания соответственно на 13, 18, 24 и 27 %.

Выводы

Установлен состав легирующей микродобавки VC, обеспечивающий максимальное сохранение исходного размера зерна карбидной составляющей твердого сплава в процессе спекания гранул при оптимальной температуре 1400 °C и выдержке 5–6 мин в вакууме.

Подтверждена возможность повышения износостойкости алмазосодержащих материалов матриц породоразрушающего инструмента путем введения в их состав композиционного наполнителя в виде гранул из мелкозернистых сплавов WC–Co, легированных микродобавками интерметаллидов гадолиния Co₅Gd и иттрия Co₅Y, карбидов тантала Ta и ванадия V.

Установлено, что повышение микротвердости с 15,1 ГПа нелегированных гранул из сплава ВК6 до 17,1; 19,1; 22 и 28,9 ГПа гранул из сплава ВК6, легированного соответственно интерметаллидами иттрия Y и гадолиния Gd, карбидами тантала Ta и ванадия V, способствует снижению интенсивности их изнашивания соответственно на 13, 18, 24 та 27 %.

Также установлено, что в случае легирования твердосплавных гранул сплавов 0,01 % интерметаллидами гадолиния Co₅Gd и иттрия Co₅Y, 0,02 % карбида ванадия повышение износостойкости до 18 % без повышения микротвердости обуславливается упрочнением кобальтовой связки, повышением в результате легирования высокотемпературной твердости и долговечности сплавов WC–Co при циклическом ударном нагружении.

Применение в качестве износостойкого наполнителя твердосплавных гранул с наперед известными химическим составом и физико-механическими свой-ствами позволяет использовать технологические методы управления износостойкостью композиционных алмазосодержащих материалов породоразрушающего инструмента с прогнозируемой износостойкостью при бурении скважин в горных породах с различными физико-механическими свойствами.

Досліджено вплив легуючих мікродобавок, що застосовуються як зносостійкий наповнювач, на зміну властивостей гранул твердого сплаву ВК6 і підвищення зносостійкості матеріалу матриці алмазних бурових коронок.

Ключові слова: *легування, гранула, зернистість, міцність, микротвердість, зносостійкість, бурові коронки.*

The effect of doping on the micro changes in the properties of tungsten carbide pellets VK6 used as wear-resistant filler, and to improve the wear resistance of the material of the matrix diamond drill bits.

Key words: *doping, grain, grit, toughness, microhardness, wear resistance, drill bits.*

Литература

1. Верещагин В. А., Журавлев В. В. Композиционные алмазосодержащие материалы и покрытия. – Минск: Наука и техника. 1991. – 208 с.
2. Тучинский Л. И. Композиционные материалы, получаемые методом пропитки. – М.: Металлургия, 1986. – 208 с.
3. Влияние технологических факторов на структуру и свойства гранул из твердых сплавов ВК3, ВК3ОМ, ВК6, ВК6ОМ / В. П. Бондаренко, В. П. Ботвинко, Р. С. Шмегера и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – Вып. 14. – С. 476–478.

4. Влияние концентрации и зернистости композиционного наполнителя на прочностные характеристики матриц алмазных буровых коронок / В. П. Бондаренко, А. М. Исонкин, Н. А. Юрчук и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – Вып. 14. – С. 44–51.
5. Влияние легирующих микродобавок на долговечность вольфрамовых твердых сплавов / В. П. Бондаренко, М. Г. Лошак, Л. И. Александрова и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2007. – Вып. 10. – С. 478–481
6. Панов В. С., Чувилин А. М., Фальковский В. А. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: МИСИО, 2004. – 464 с.
7. Фальковский В. А., Клячко Л. И. Твердые сплавы. – М.: Руда и металлы, 2005. – 416 с.
8. ГОСТ 9391-80. Сплавы твердые спеченные. Методы определения пористости и микроструктуры.
9. Чапорова И. Н., Чернявский К. С. Структура спеченных твердых сплавов. – М.: Металлургия, 1975. – 248 с.
10. ГОСТ 20018-74. Сплавы твердые спеченные. Метод определения плотности.
11. ГОСТ 20017-74. Сплавы твердые спеченные. Метод определения твердости по Роквеллу.
12. ГОСТ 24916-81. Сплавы твердые спеченные. Метод определения коэрцитивной силы.

Поступила 05.06.12

УДК 622.23.051.7

Г. Д. Ильницкая, А. П. Загора, Р. К. Богданов¹, кандидаты технических наук;
С. А. Ивахненко¹, д-р техн. наук; **О. А. Заневский¹**, канд. хим. наук;
А. А. Каракозов², канд. техн. наук; **М. С. Попова²**

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

²Донецкий национальный технический университет, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОСНАЩЕНИЮ БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА КРУПНЫМИ СИНТЕТИЧЕСКИМИ АЛМАЗАМИ

Приведены результаты экспериментальных и аналитических исследований возможности использования в разрабатываемых конструкциях однослойных буровых коронок крупных кристаллов синтетического алмаза с разными прочностными характеристиками, определяемыми совершенством структуры кристаллов алмаза, морфологией поверхности граней и магнитными свойствами.

Ключевые слова: синтетические алмазы, дефектность поверхности, удельная магнитная восприимчивость, однородность, однослойные алмазные буровые коронки.

Введение

Синтетические сверхтвердые материалы все шире применяют в оснащении буровых породоразрушающих инструментов.

В целях оснащения инструмента для бурения скважин в крепких породах используют синтетические монокристаллические алмазы с зернистостями 250/200–630/500 мкм. Для бурения скважин в мягких породах и средней крепости используют инструмент, оснащенный элементами из алмазных поликристаллических композиционных материалов и