

К. т. н. В. П. Рева¹, К. т. н. Д. В. Онищенко¹, д. т. н. В. В. Петров²,
д. т. н. В. А. Ким², д. т. н. А. И. Евстигнеев²

¹ ФГАОУ ВПО «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток, Россия

² ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»,
г. Комсомольск-на-Амуре, Россия

УДК 666.762.8:621.762.22

ФОРМИРОВАНИЕ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК8 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРОШКА КАРБИДА ВОЛЬФРАМА, СИНТЕЗИРОВАННОГО ПО МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Рассмотрена возможность использования порошков карбида вольфрама, полученного механохимическим синтезом, в качестве материала для изготовления твердого сплава ВК8. Представлены результаты сравнительных испытаний физико-механических и эксплуатационных свойств твердого сплава, изготовленного по различным режимам.

Ключевые слова: механохимический синтез, карбид вольфрама, твердый сплав ВК8, режимы спекания, режущие пластины.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия для производства современных режущих инструментов интенсивно применяют твердые сплавы. Они состоят из карбидов вольфрама, титана, тантала, скрепленных кобальтовой связкой. Карбиды вольфрама, титана и тантала обладают высокой твердостью, износостойкостью и теплоустойчивостью [1, 2]. Инструменты, оснащенные твердым сплавом, хорошо сопротивляются истиранию сходящей стружкой и материалом заготовки и не теряют своих режущих свойств при температуре нагрева до 750—1100 °С. Скорость резания инструментами, оснащенными твердыми сплавами, в 3—4 раза превосходит скорость резания инструментами из быстрорежущей стали. Твердосплавные инструменты пригодны для обработки закаленных сталей, а также неметаллических материалов, таких как стекло, фарфор. Недостатком твердых сплавов по сравнению с быстрорежущей сталью является их повышенная хрупкость, которая возрастает с уменьшением содержания в сплаве кобальта.

Производство твердых сплавов относится преимущественно к области порошковой металлургии. Порошки карбидов смешиваются с порошком кобальта, затем прессуются изделия требуемой формы и подвергаются спеканию при температуре, близкой к температуре плавления кобальта. Таким образом формируются пластинки твердого сплава различных размеров и форм, которыми оснащаются резцы,

фрезы, сверла, зенкеры, развертки и др. Пластинки твердого сплава крепятся к державке или к корпусу напайкой или механически при помощи винтов и прижимов.

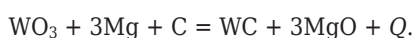
Применение твердых сплавов на основе карбида вольфрама позволяет вести обработку металлов со сверхвысокими скоростями резания, так как сплавы этой группы обладают очень высокой твердостью, износоустойчивостью и красностойкостью. Среди приоритетных и востребованных твердосплавных композиций следует отметить сплав ВК8, которым оснащают инструмент для бурения, волочения, черного точения жаропрочных и нержавеющей сталей, а также сплавов титана. Сплав ВК-8 за счет высокой прочности и ударной вязкости применяют для изготовления твердосплавных штампов, работающих в условиях больших ударных нагрузок. Стойкость твердосплавных штампов по сравнению со стальными возрастает в 30—50 раз, чем обеспечивается большой экономический эффект.

Авторами публикаций [3—5] показано, что аморфный углерод, синтезируемый пиролизом из возобновляемого растительного сырья (отходов сельскохозяйственных культур и сфагнового мха), обладает ценным комплексом физико-химических свойств. Кроме того, он является эффективным углеродным агентом для проведения механохимического синтеза карбида вольфрама. Синтезируемый карбид вольфрама имеет пониженное содержание серы по сравнению с карбидами, полученными с использованием классических углеродных агентов [6].

Цель настоящей работы — отработка технологии спекания твердого сплава ВК8, сформированного из порошка карбида вольфрама, полученного механохимическим синтезом, а также исследование его физико-механических и эксплуатационных свойств.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основной компонент твердого сплава ВК8 — карбид вольфрама был получен механохимическим синтезом на вибрационной мельнице [4]. Морфология ультрадисперсного порошка карбида вольфрама показана на рис. 1. Синтез карбида вольфрама осуществляли в соответствии с реакцией



Использовали оксид вольфрама квалификации х. ч. и магний чистотой 99,95 %.

В качестве углеродсодержащего материала применяли аморфный углерод, полученный пиролизом при 950 °С из овса и бурого сфагнома. Активацию исходных компонентов и механохимический синтез карбида вольфрама осуществляли в герметичном контейнере (механореакторе) энергонапряженной вибромельницы [4], работающей при частоте колебаний контейнера 750 мин⁻¹ и амплитуде 90 мм. В качестве мелющих тел применяли шары из стали ШХ15 диаметром 14 мм. Интенсивность измельчения составляла 1:15. О прохождении синтеза судили по скачкообразному повышению температуры в механореакторе, измеряемой на его внешней стенке с помощью инфракрасного лазерного пирометра С-20.1, после чего виброобработку прекращали. Полученный продукт подвергали трехкратной отмывке в растворе соляной кислоты плотностью 1,15 г/см³.

В качестве связки для создания твердосплавной смеси применяли ультрадисперсный порошок кобальта ПК-1у по ГОСТ 9721 размерностью 3—7 мкм и плотностью 8,93 г/см³. Смешивание порошковых компонентов в пропорциях, соответствующих химическому составу изготавливаемого твердого сплава, в количестве 80 г осуществляли в планетарной шаровой мельнице РМ-400, Германия, в течение 150 мин. Использовали контейнер из нержавеющей стали, футерованный твердым сплавом ВК3, а также мелющие твердосплавные шары из сплава ВК6 диаметром 14 мм. Заполнение контейнера составляло 0,35. Смешивание осуществляли в 75%-ном растворе этилового спирта. Отгонку спирта осуществляли с помощью универсального дистиллятора К-355 фирмы «BUCHI Labortechnik AG», Швейцария, по стандартной методике в течение 35 мин. В качестве коммерческого продукта использовали твердосплавную смесь ВК8 производства Кировоградского завода твердых сплавов (СТО 00196144-0727-210 СМК).

Спекание твердосплавной композиции ВК8 осуществляли в высокотемпературной вакуумной печи «Nabertherm VHT 100/22-МО», Германия, по трем экспериментальным режимам. Режим I: предварительное спекание с противоточной подачей водорода, температура нагрева 930 °С, длительность нагрева 147 мин, выдержка 60 мин, окончательное спекание при 1410 °С в вакууме 1·10⁻⁴ мбар в течение 85 мин. Режим II: спекание в вакууме при 1400 °С при максимальном для данной печи вакууме 1·10⁻⁵ мбар в течение 155 мин. Режим III — изостатическое горячее прессование в вакууме на лабораторном прессе горячего изостатического прессования фирмы AIP, США, при 1430 °С, давлении 1,3 т/см² и выдержке 5 мин.

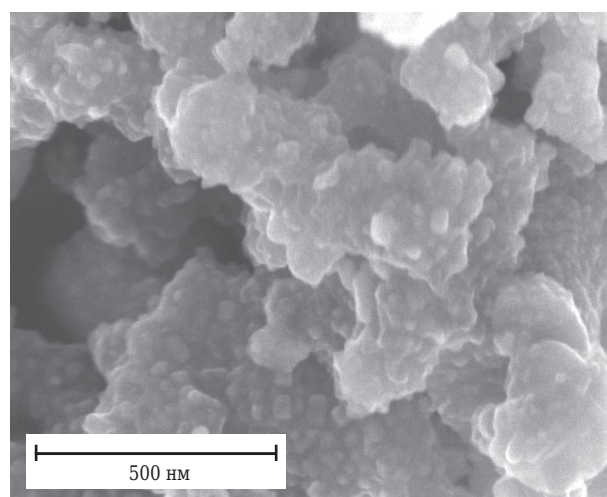
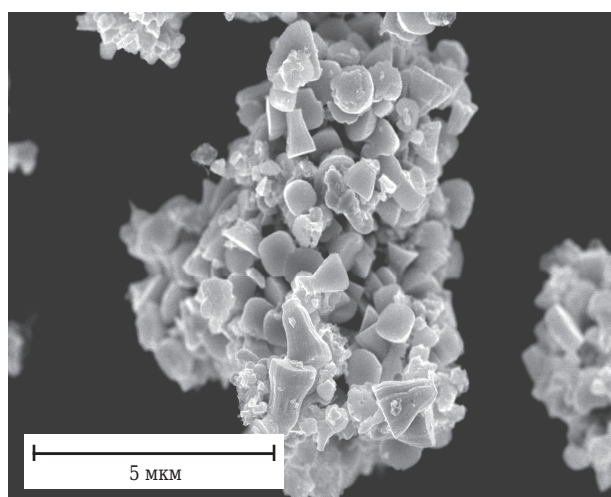


Рис. 1. Морфология порошка карбида вольфрама

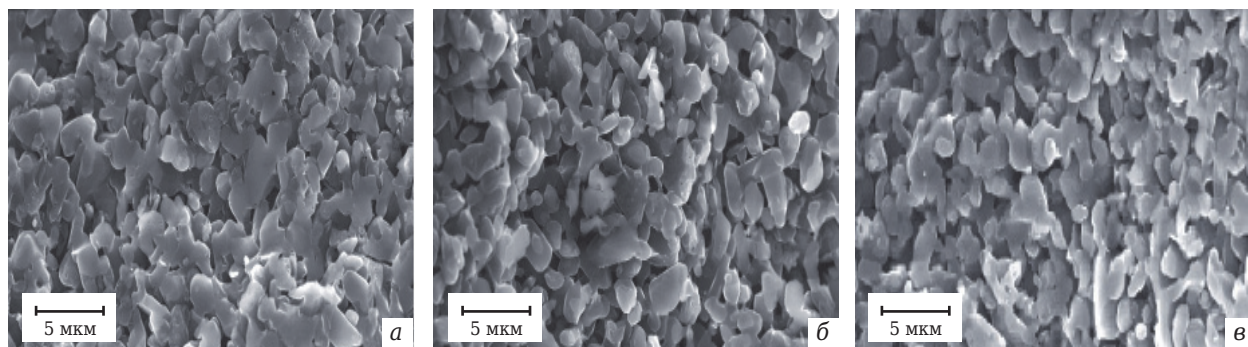


Рис. 2. Микроструктура экспериментального твердого сплава ВК8: а — спекание по смешанному режиму; б — спекание в вакууме; в — изостатическое горячее прессование

Для улучшения прессуемости смеси, уменьшения трения между прессовкой и стенками пресс-формы, придания заготовкам дополнительной прочности в смесь дополнительно вводили пластификатор. В качестве пластификатора при холодном прессовании использовали синтетический каучук, растворенный в бензине АИ-95 в соотношении 1:0,4, в количестве 3 мас. %, так как при данном содержании пластификатора спеченные образцы имеют наилучшие показатели прочности при изгибе. При увеличении количества пластификатора до 5—10 мас. % происходит увеличение содержания свободного углерода в смеси до 0,5 мас. %; при этом при введении 3 мас. % пластификатора содержание свободного углерода составляет 0,01 мас. %. Это обусловлено особенностями разложения синтетического каучука на стадии спекания, что негативно влияет на эксплуатационные свойства твердосплавной продукции. Высушенные смеси измельчали в планетарной шаровой мельнице РМ-400 фарфоровыми шариками диаметром 16 мм в течение 140 мин и просеивали через сито с размером ячейки 0,25 мм. Прессование штабиков размерами $8 \times 8 \times 4$ мм из подготовленных к прессованию смесей производили на порошковом прессе ЕРМ-500 GA, КНР, в стальной пресс-форме. Давление прессования $1,3 \text{ т/см}^2$.

Для определения кислорода и азота применяли элементный анализатор серии ONH-2000 фирмы «Eltra», Германия. Плотность образцов определяли методом гидростатического взвешивания на лабораторных весах AXIS AG 100 с устройством для гидростатического взвешивания по ГОСТ 20018. Твердость сплавов оценивали по длине диагонали отпечатка при вдавливании алмазной пирамиды на приборе ТК-2М, модуль упругости (модуль Юнга) — по резонансу между собственными колебаниями образца и возбуждениями от генератора. Предел прочности при изгибе сплавов определяли по методике испытаний твердых сплавов по

ГОСТ 20019. При этом использовали образцы размерами $5 \times 5 \times 35$ мм, предварительно отшлифованные до заданной ГОСТ 2789 шероховатости поверхности. Испытывали 5 образцов для получения достоверных значений в одной точке. Испытания проводили на универсальной испытательной машине EUS-20, Германия, при трехточечном нагружении с расстоянием между опорами $(30 \pm 0,5)$ мм; максимальная нагрузка 10 кН (ГОСТ 28840). При испытании фиксировали разрушающую нагрузку; производили запись диаграммы нагрузка (P) — перемещение по линии действия силы (F). Скорость перемещения подвижной траверсы при испытаниях составляла 3 мм/мин. Предел прочности при сжатии определяли на универсальной тестовой машине UTS-100 по ГОСТ 27034. При этом использовали образцы размерами 4×4 мм и высотой $(10 \pm 0,1)$ мм. Торцевые стороны образцов после изготовления подвергались алмазной шлифовке для получения отклонения от перпендикулярности и параллельности не более 0,01 мм. Для исключения влияния трения на результаты испытаний между опорами и образцом вставляли прокладки из алюминиевой фольги толщиной 0,03 мм. Скорость перемещения активной траверсы при испытаниях выдерживали в интервале 1,0–1,5 мм/мин.

Ударную вязкость определяли по энергии излома образцов на маятниковом копре «Zwick 5102», сопротивление разрушению сплавов — с использованием силового критерия механики разрушения (коэффициента интенсивности напряжений K_{Ic}). По стандарту определения характеристик трещиностойкости при статическом нагружении для испытания материалов использовали образцы с концентратором напряжений в виде надреза с нанесенной в его вершине трещиной. Расчеты K_{Ic} для образцов-штабиков при испытании на трехточечный изгиб проводили по ГОСТ 25.506. Морфологию поверхности порошков карбида вольфрама исследовали на электронном сканирующем

Таблица 1. Физико-механические и структурные характеристики твердого сплава ВК8 после спекания в различной атмосфере (числитель — экспериментальная смесь, знаменатель — коммерческий продукт)

Характеристики	Режим спекания твердосплавных смесей		
	I	II	III
Объемная доля твердой фазы, %	$\frac{84 \pm 1,7}{83,9}$	$\frac{85 \pm 1,2}{83,1 \pm 1,2}$	$\frac{89 \pm 1,1}{86,3 \pm 1,1}$
Средний условный размер частицы карбида вольфрама, мкм	$\frac{2,22 \pm 0,03}{2,41 \pm 0,03}$	$\frac{2,1 \pm 0,03}{2,17 \pm 0,03}$	$\frac{1,7 \pm 0,02}{1,9 \pm 0,02}$
Средняя условная толщина прослойки кобальта, мкм	$\frac{0,74 \pm 0,04}{0,77 \pm 0,04}$	$\frac{0,54 \pm 0,04}{0,63 \pm 0,04}$	$\frac{0,34 \pm 0,03}{0,45 \pm 0,03}$
Плотность, 10^{-3} кг/м ³	$\frac{14,5 \pm 0,4}{14,6 \pm 0,4}$	$\frac{14,6 \pm 0,4}{14,7 \pm 0,4}$	$\frac{14,9 \pm 0,4}{15 \pm 0,4}$
Твердость, ГПа	$\frac{13,7 \pm 0,7}{11,2 \pm 0,7}$	$\frac{14,4 \pm 0,7}{12,3 \pm 0,7}$	$\frac{18,3 \pm 0,7}{15,4 \pm 0,7}$
Модуль упругости, 10^{-4} МПа	$\frac{61 \pm 1}{60 \pm 1}$	$\frac{61,5 \pm 1}{60,5 \pm 1}$	$\frac{63 \pm 1}{61,5 \pm 1}$
Предел прочности, ГПа:			
при изгибе	$\frac{2,24 \pm 0,1}{2,12 \pm 0,1}$	$\frac{2,64 \pm 0,1}{2,37 \pm 0,1}$	$\frac{2,97 \pm 0,1}{2,74 \pm 0,1}$
при сжатии	$\frac{4,5 \pm 0,2}{4,3 \pm 0,2}$	$\frac{4,7 \pm 0,2}{4,5 \pm 0,2}$	$\frac{4,9 \pm 0,2}{4,7 \pm 0,2}$
Ударная вязкость, кДж/м ²	$\frac{35 \pm 2}{34 \pm 2}$	$\frac{62 \pm 2}{51 \pm 2}$	$\frac{95 \pm 2}{77 \pm 2}$
Вязкость разрушения, МПа·м ^{1/2}	$\frac{11 \pm 0,5}{10 \pm 0,5}$	$\frac{14 \pm 0,5}{12 \pm 0,5}$	$\frac{17 \pm 0,5}{14 \pm 0,5}$

микроскопе высокого разрешения «Hitachi S5500», Япония. Микроструктуру твердого сплава исследовали на электронном сканирующем микроскопе JSM 6510LA (фирмы JEOL, Япония).

В качестве режущего инструмента использовали сборные резцы с режущими четырехгранными пластинами. Испытания режущих пластин [7] из сплава ВК8 в составе резцов проводили на токарно-винторезном станке повышенной точности модели ИС1-1 (95ТС-1) с помощью продольного точения болванки диаметром 70 мм из жаропрочного сплава ХН70Ю. Охлаждающие жидкости в процессе испытаний не применяли. Инструмент с режущими пластинами из сплава ВК8 испытывали при следующих режимах резания: скорость резания — варьируемая, подача 0,3 мм/об, глубина резания 0,7 мм. Критерием износа служило предельное значение фаски изнашивания задней поверхности. Износ задней поверхности резца из сплава ВК8 в зависимости от времени резания при черновом точении определяли на инструментальном (стереоскопическом) микроскопе «45X Motic SMZ-168-TL», Китай.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Микроструктура экспериментального твердого сплава ВК8, полученного при трех режимах спекания, показана на рис. 2. Наиболее дисперсная, развитая структура наблюдается у твердого сплава, полученного изостатическим горячим прессованием; при этом средний условный размер частицы карбида вольфрама составляет 1,7 мкм (табл. 1). В структуре сплава, спеченного по смешанному режиму, наблюдаются сравнительно крупные зерна карбида вольфрама; средний условный размер частицы карбида вольфрама составляет 2,22 мкм. Однако следует отметить, что твердый сплав, изготовленный из коммерческой твердосплавной смеси по любому из режимов спекания, имеет частицы карбида с размером в среднем на 10 % большим, чем у экспериментальных смесей. Твердые сплавы, изготовленные по экспериментальным режимам, имея после спекания по любому из режимов меньшую по сравнению с коммерческим продуктом плотность, показали на 14—18 % большую твердость (см. табл. 1). Как видно из табл. 1, твердые сплавы из экспериментальных смесей имеют более высокие физико-механические характеристики, чем

Таблица 2. Стойкость пластин из твердого сплава ВК8

Пластины из твердого сплава	Стойкость пластин, мин, при скорости резания, м/мин						
	20	25	30	35	40	100	150
Промышленного	27	15	11	5	2,3	0,7	0,55
Экспериментального	135	115	85	69	43	6,9	5,7

сплавы из коммерческого продукта. Причем если разница в свойствах сплавов, полученных по смешанному режиму спекания, не превышает 5 %, то у сплавов, полученных спеканием в вакууме и изостатическим горячим прессованием, разница в свойствах составляет от 15 до 20 %.

Сравнительные испытания режущих пластин из твердого сплава ВК8 показали, что стойкость при резании у экспериментальных пластин, изготовленных методом изостатического горячего прессования, в зависимости от скорости резания от 5 до 19 раз выше, чем у промышленных резцов (табл. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, спеченный твердый сплав ВК8, изготовленный с использованием порошка карбида вольфрама, синтезированного по механохимической технологии, обладает высоким комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств. Это предопределяет перспективы его практического применения при изготовлении высокоэффективных режущих инструментов.

Библиографический список

1. **Самсонов, Г. В.** Карбиды вольфрама / Г. В. Самсонов, В. К. Витрянюк, Ф. И. Чаплыгин. — Киев : Наукова думка, 1974. — 176 с.

2. **Скорород, В. В.** Порошковые материалы на основе тугоплавких металлов и соединений / В. В. Скорород. — Киев : Техника, 1982. — 167 с.

3. **Онищенко, Д. В.** Возобновляемое растительное сырье как основа для получения функциональных нанокompозитных материалов универсального назначения / Д. В. Онищенко, В. В. Чаков // Журнал прикладной химии. — 2011. — Т. 84, № 9. — С. 1562—1566.

4. **Онищенко, Д. В.** Получение нанопорошка карбида вольфрама методом механической активации / Д. В. Онищенко, В. П. Рева // Физика и химия обработки материалов. — 2011. — № 2. — С. 71—77.

5. **Рева, В. П.** Особенности механохимического синтеза карбида вольфрама с участием природного графита / В. П. Рева, Д. В. Онищенко // Новые огнеупоры. — 2012. — № 10. — С. 61—66.

Reva, V. P. Features of mechanochemical synthesis of tungsten and titanium carbides with participation of natural graphite / V. P. Reva, D. V. Onishchenko // Refractories and Industrial Ceramics. — 2013. — Vol. 53, № 5. — P. 330—334.

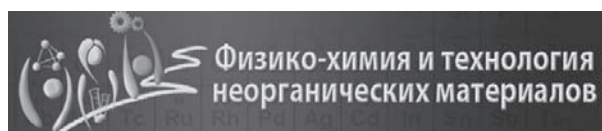
6. **Онищенко, Д. В.** Приоритетные критерии механохимического синтеза карбидов титана и вольфрама с участием различных углеродных компонентов / Д. В. Онищенко, В. П. Рева, В. Г. Курявый // Металлург. — 2012. — № 12. — С. 41—45.

7. **Башков, В. М.** Испытания режущего инструмента на стойкость / В. М. Башков, П. Г. Кацев. — М. : Машиностроение, 1985. — 136 с. ■

Получено 26.04.13

© В. П. Рева, Д. В. Онищенко, В. В. Петров, В. А. Ким, А. И. Евстигнеев, 2013 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



V международная конференция

«Деформация и разрушение материалов и наноматериалов»

На конференции планируется обсудить и обобщить весь спектр результатов исследований в области прочности, деформации и разрушения материалов и наноматериалов. В рамках проведения конференции будут проведены семинары и выставка, знакомящие участников и гостей конференции с новейшими образцами оборудования для исследования структуры, процессов деформации и разрушения материалов и наноматериалов. К открытию конференции будет выпущен сборник трудов.

Сайт конференции: <http://www.dfmn.imetran.ru>. E-mail: dfmn@imetran.ru

Адрес: 119991, Москва, Ленинский проспект, 49

26—29 ноября 2013 г.

Москва, ФГБУН «Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН»