

Е. В. Липян, канд. техн. наук; **О. Н. Сизоненко**, д-р техн. наук¹;
Н. А. Олейник, канд. техн. наук²

¹Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, просп. Богоявленский 43А,
54018 г. Николаев, Украина, E-mail: sizonenko43@rambler.ru

²Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, ул. Автозаводская 2,
04074 г. Киев, Украина, E-mail: oleynik_nonna@ukr.net

СТРУКТУРА КАРБИДОТИТАНОВЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОРАЗЯДНЫМ СИНТЕЗОМ

Рассмотрены закономерности формирования структуры карбидтитановых твердых сплавов методом искро-плазменного спекания порошковой шихты, полученной в результате высоковольтной электроразрядной обработки исходной железотитановой порошковой смеси в углеводородной жидкости. Подтверждена эффективность применения высокоэнергетических методов электроразрядного синтеза для воздействия на структуру материала. Получили развитие исследования по созданию принципа синтеза материалов в две стадии. На первой стадии происходит подготовка поверхности порошков титана и железа, синтез нанокремнезема различных аллотропных модификаций и синтез карбида титана при высоковольтной электроразрядной обработке с удельной энергией от 4,5 до 27 МДж/кг. На второй стадии при искро-плазменном спекании при температуре от 1000 до 1100 °С при времени выдержки до 20 мин происходит синтез карбидтитанового твердого сплава с высокими физико-механическими характеристиками. Исследование микроструктуры методами оптической и электроннооптической микроскопии и рентгенофазового анализа позволило выявить особенности формирования структуры твердых сплавов с применением двухстадийного подхода, обуславливающие их свойства. Показано появление и увеличение количества упрочняющих фаз карбида титана и интерметаллида в компакте, а также уменьшение пористости в нем с возрастанием удельной энергии обработки порошковой шихты от 4,5 до 18 МДж/кг и образование свободного углерода при повышении энергии до 27 МДж/кг.

Ключевые слова: высоковольтный электрический разряд, твердый сплав, порошок, карбид титана, кермет, порошковая шихта, искро-плазменное спекание

Введение

Растущий с каждым годом дефицит вольфрамового и кобальтового сырья и их высокая стоимость делают актуальными задачи создания новых и совершенствования существующих составов безвольфрамовых и экономно легированных инструментальных материалов для режущих и штамповых инструментов, деталей машин, работающих в условиях интенсивного абразивного воздействия [1–6]. Оценка стоимости и доступности титанового и железного порошкового сырья подтверждает перспективность поиска путей создания карбидтитановых твердых сплавов (КТТС) со стальной (железной) связкой [5–8]. Целесообразным является рассмотрение высокоэнергетических методов, использующих специальные физические эффекты для повышения качества как шихты, так и готового изделия [9].

Перспективным является принцип синтеза КТТС в две стадии с учетом возможности эффективного использования метода диспергирования, активации и синтеза полидисперсных микро- и наноразмерных композиционных порошков за счет выделения необходимых дисперсных фаз при воздействии высоковольтных электрических разрядов (ВЭР) на исходные смеси порошков титана и железа на первой стадии и использование метода искро-плазменного спекания (ИПС) для консолидации порошковой шихты, полученной в результате ВЭР обработки, которые обеспечат сохранение зерногетерофазной структуры КТТС на второй стадии [10–14].

Вопросы, касающиеся закономерностей изменения дисперсного и фазового состава порошков от параметров ВЭР, в частности удельной энергии, рассмотрены в работах [10–14]. Выполненные исследования позволили сделать вывод об увеличении дисперсности по экспоненциальному закону и появлении в структуре материала карбидной фазы, количество которой возрастает с увеличением удельной энергии воздействия на порошковую композицию при ее ВЭР обработке в углеводородной жидкости.

В работе [12] рассмотрена связь и установлены закономерности дисперсного и фазового состава порошков и физико-механических свойств КТТС, консолидированных из порошков после ВЭР. При этом вопросы, касающиеся структуры таких сплавов, рассмотрены не были.

Целью данной работы является изучение закономерностей формирования структуры карбидтитановых твердых сплавов методом ИПС порошковой шихты, полученной в результате ВЭР обработки исходной железотитановой порошковой смеси в углеводородной жидкости.

Объекты и методы исследования

В качестве исходных материалов использовались порошки титана марки ПТХ-6-2 по ТУ 48-10-78-83 и железа марки ПЖР 3.200.26-30 по ГОСТ 9849-86. Смесь порошков, содержащая 80 масс.% Ti и 20 масс.% Fe, подвергалась воздействию ВЭР в керосине марки ТС-1 (сорт высший) по ГОСТ 10227-86. Схема и внешний вид рабочей камеры и стенда подробно описаны в работе [11]. Параметры обработки были подобраны для наиболее эффективного воздействия на обрабатываемые порошки [10–14]. Удельная энергия $W_{уд}$ обработки была выбрана на основании полученной эмпирической зависимости и составляла 4,5; 9; 18 и 27 МДж/кг (все значения кратны минимальной энергии 4,5 МДж/кг, варьирование осуществлялось за счет смены количества циклов).

Консолидация порошковой композиции осуществлялась в вакууме (~100 Па) на универсальном экспериментальном комплексе «ГЕФЕСТ-10», генератор которого обеспечивает пропускание через порошок суперпозиции постоянного и переменного тока амплитудой 1,1 кА с частотой переменной составляющей 10 кГц при давлении прессования 60 МПа. Параметры спекания выбирались на основе предварительных исследований с учетом анализа диаграмм состояния и составляли: скорость роста температуры ~ 20 °С/с, температура изотермической выдержки ~ 1050 °С/с, время изотермической выдержки до 20 мин, скорость охлаждения ~ 10 °С/с.

Определение относительной износостойкости выполнялось по ГОСТ 17367–71 с использованием в качестве эталона промышленного твердого сплава марки ВК8 при абразивном износе на машине трения СМЦ-2 по схеме «ролик-колодка» при сухом трении на алмазном круге зернистостью 160/80. Линии трения исследовались на оптическом микроскопе БИОЛАМ И.

Исследования структуры поверхности образцов, микрорентгеноспектральный анализ элементного состава и измерение относительной электропроводности выполнялись на растровом электронном микроскопе-микроанализаторе РЭММА-102. Шлифы для исследования протравливали в смеси азотной и плавиковой кислот в соотношении 3 к 1 при выдержке 20–30 с.

Исследование фазового состава порошков выполнялось методом рентгенофазового анализа. Регистрация дифрактограмм осуществлялась при помощи дифрактометра Rigaku Ultima IV при $\text{CuK}\alpha$ излучении. Идентификация фаз на дифрактограммах осуществлялась по базам JCPDS ICDD PDF2 и POW COD.

Результаты и обсуждение

На структуру и механические свойства в наибольшей степени влияет температура спекания. Оптимальной считается температура, при которой количество жидкой фазы

достаточно для активации усадки и образования мелкозернистой структуры. Низкая растворимость TiC в Fe обуславливает уменьшение объема жидкой фазы при спекании и усложняет процессы перекристаллизации. Это затормаживает рост карбидных зерен. При одинаковом составе оптимальная температура спекания повышается с повышением содержания карбидной фазы. С целью получения структуры образца с минимальной пористостью и равномерным распределением по величине карбидных зерен, продолжительность спекания выбирают значительно больше, чем необходимо для полного уплотнения [5, 7–9].

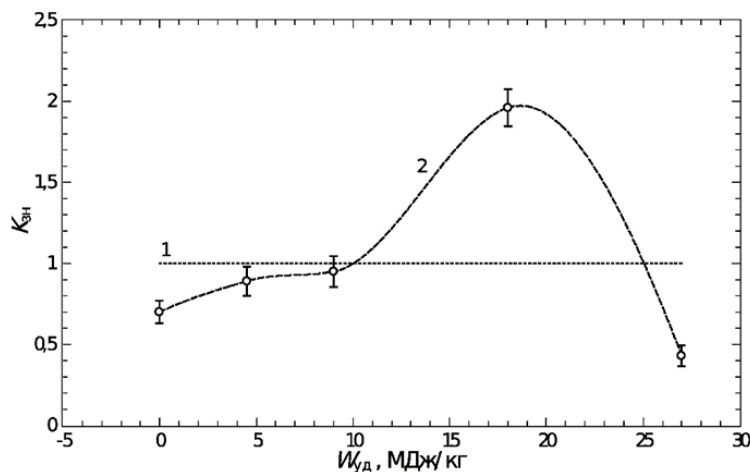


Рис. 1. Относительная износостойкость $K_{зн}$ твердых сплавов марки VK8 (1) и синтезированных из шихты после ВЭР (2)

(эталон) наблюдается значительный абразивный износ – потеря массы составляет ~ 8,5 г на 1 км пути. Для образцов, спеченных из исходного порошка, значение относительной износостойкости на ~ 30 % ниже, чем для образца из сплава марки VK8 (потеря массы в абсолютных единицах составляет 4,2 г на 1 км пути). Обработка порошков при значениях удельной энергии 4,5 и 9 МДж/кг приводит к повышению сопротивления абразивному износу практически до уровня VK8, а повышение удельной энергии до 18 МДж/кг – к возрастанию относительной износостойкости в ~ 2 раза по сравнению с промышленным сплавом VK8.

Дальнейшее повышение удельной энергии до 27 МДж/кг приводит к резкому падению износостойкости (до 6 г/км).

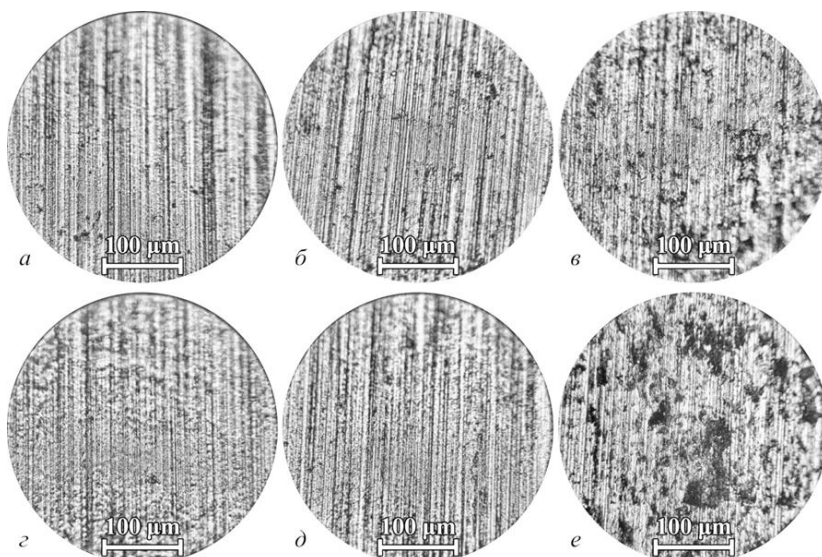


Рис. 2. Микроструктура после абразивного износа образцов сплава VK8 (а), спеченных из исходной шихты (б) и после ВЭР обработки с удельной энергией 4,5 (в), 9 (г), 18 (д) и 27 МДж/кг (е) (оптический микроскоп, $\times 40$)

При использовании алмазного круга в качестве контртела происходит явление «вырывания» упрочняющих частиц карбидов с металлической матрицы [5]. В этих условиях полученные образцы КТТС превосходят промышленные ТС по износостойкости. Фотографии линий трения (см. рис. 2)

показывают равномерность износа образцов КТТС, полученного из порошков после ВЭР с удельной энергией воздействия 9 и 18 МДж/кг (рис. 2 *з, д*).

Образец ВК8 (рис. 2, *а*) изнашивается менее равномерно, заметны как следы вырывания карбидов, так и срезания связки. В микроструктуре материала, полученного из порошка после ВЭР при удельной энергии 4,5 МДж/кг (рис. 2, *в*), заметны пятна, вероятно, свободного углерода. Большие пятна свободного углерода наблюдаются для материала, полученного из порошка после ВЭР при удельной энергии 27 МДж/кг (рис. 2, *е*).

В структуре материала, спеченного из исходного порошка, поры имеют относительно небольшой объем (см. рис. 2 *а*, рис. 3 *а*).

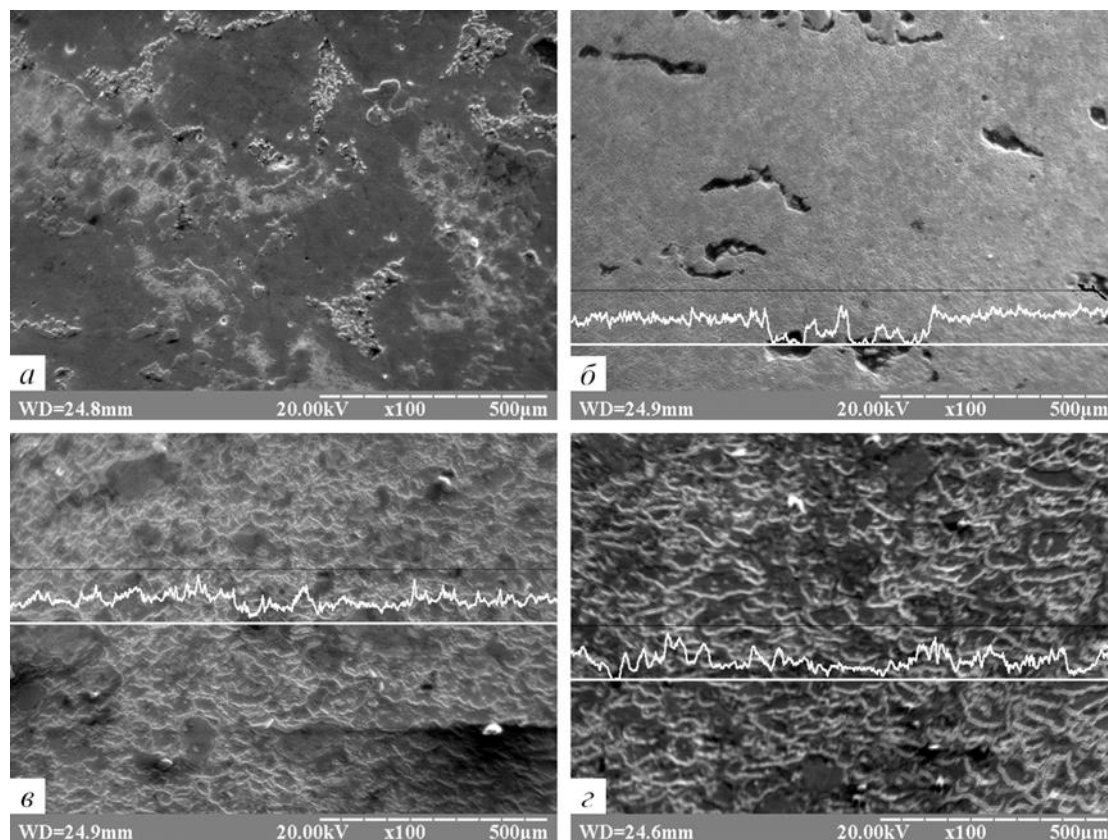


Рис. 3. Микроструктура и относительная электропроводность образцов, спеченных из исходной шихты (*а*), после ВЭР обработки с удельной энергией 4,5 (*б*), 9 (*в*), 18 МДж/кг (*г*) (электронный микроскоп, $\times 100$)

Как следует из рис. 2, 3, в результате ВЭР воздействия уже при удельной энергии 4,5 МДж/кг изменяется структура получаемого компакта, наблюдается увеличение количества пор (рис. 2 *в*, рис. 3 *б*). При повышенной удельной энергии до 18 МДж/кг (рис. 2 *з–д* и рис. 3 *в–г*) наблюдается увеличение количества частиц карбида титана. С повышением энергии до 27 МДж/кг в структуре появляются большие «пятна» размером до ~ 50 мкм, содержащие карбид титана и свободный углерод (см. рис. 2, *е*).

Исследование относительной электропроводности структуры (рис. 3, белые кривые, белая прямая – направление измерений), свидетельствует об уменьшении пористости структуры при увеличении удельной энергии при синтезе порошковой шихты, а также об увеличении количества карбидной фазы (которая вызывает уменьшение электропроводности). Микроэлектронные фотографии, приведенные на рис. 3 *в, г* (травление структуры,

вытравленные участки – карбид титана) показывают динамику роста карбидного каркаса с увеличением величины $W_{уд}$.

Анализ консолидированных ИПС порошковых композиций свидетельствует о появлении в структуре материала карбидной фазы, количество которой возрастает с увеличением удельной энергии воздействия на порошковую композицию при ее ВЭР обработке. При этом для образцов, полученных по композиции, синтезированных при значениях $W_{уд}$ 4,5 и 27 МДж/кг, наблюдаются большая пористость и наличие включений свободного углерода. Структура образцов из композиции, синтезированных при $W_{уд}$ 9 и 18 МДж/кг имеет карбидную каркасную структуру (см. рис. 4 в, з), что по литературным данным для безвольфрамовых TiC, в отличие от традиционных TiC и сталей, не должно вызывать ухудшения свойств [5].

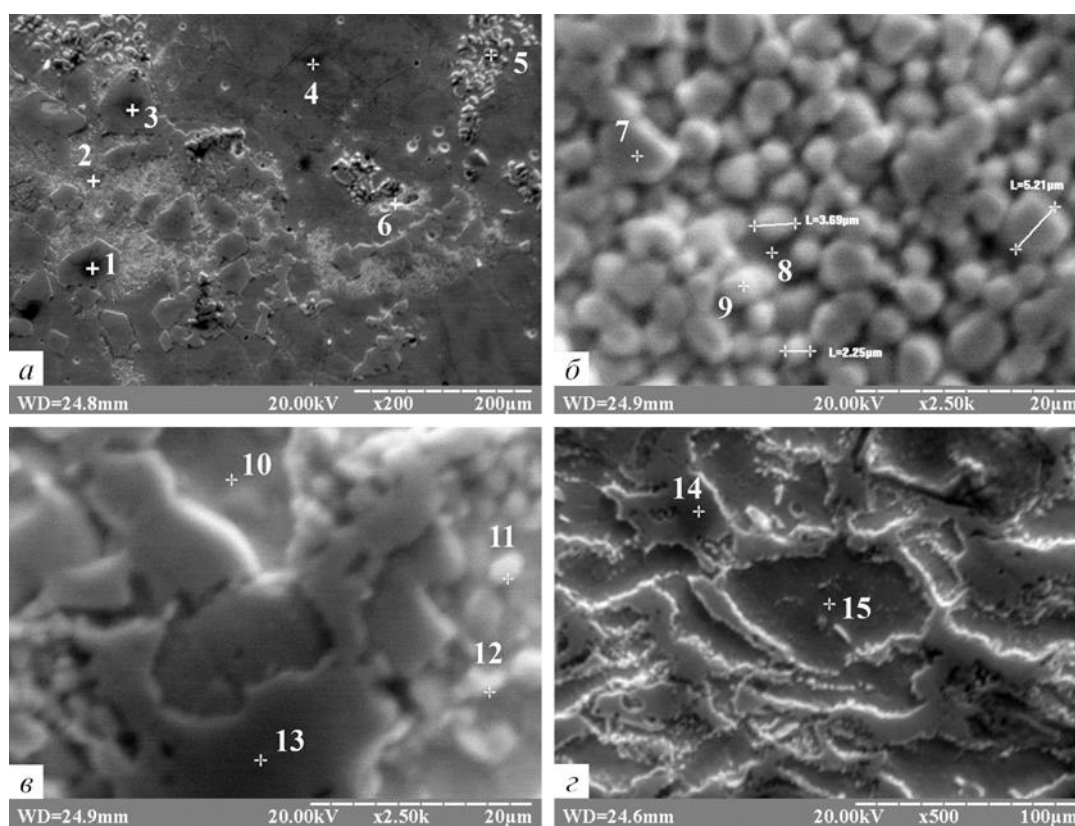


Рис. 4. Микроструктура и фазовый состав образцов, спеченных из исходной шихты (а) и после ВЭР обработки с удельной энергией 4,5 (б), 9 (в) и 18 МДж/кг (з) (электронный микроскоп): 1 – 57,05 % Ti, 42,95 % Fe; 2 – 54,57 % Ti, 45,43 % Fe; 3 – 56,45 % Ti, 43,55 % Fe; 4 – 70,79 % Ti, 29,21 % Fe; 5 – 94,64 % Ti, 5,36 % Fe; 6 – 68,58 % Ti, 31,42 % Fe; 7 – 97,96 % Ti, 2,04 % Fe; 8 – 70,83 % Ti, 29,17 % Fe; 9 – 89,05 % Ti, 10,95 % Fe; 10 – 83,14 % Ti, 16,86 % Fe; 11 – 92,99 % Ti, 7,01 % Fe ; 12 – 85,37 % Ti, 14,63 % Fe; 13 – 98,53 % Ti, 1,47 % Fe; 14 – 97,43 % Ti, 2,57 % Fe; 15 – 71,57 % Ti, 28,43 % Fe

Результаты рентгенофазовых исследований (см. рис. 5) свидетельствуют о том, что ИПС вызывает химические превращения, изменяя фазовый состав компактов по сравнению с порошковой шихтой (см. [12]).

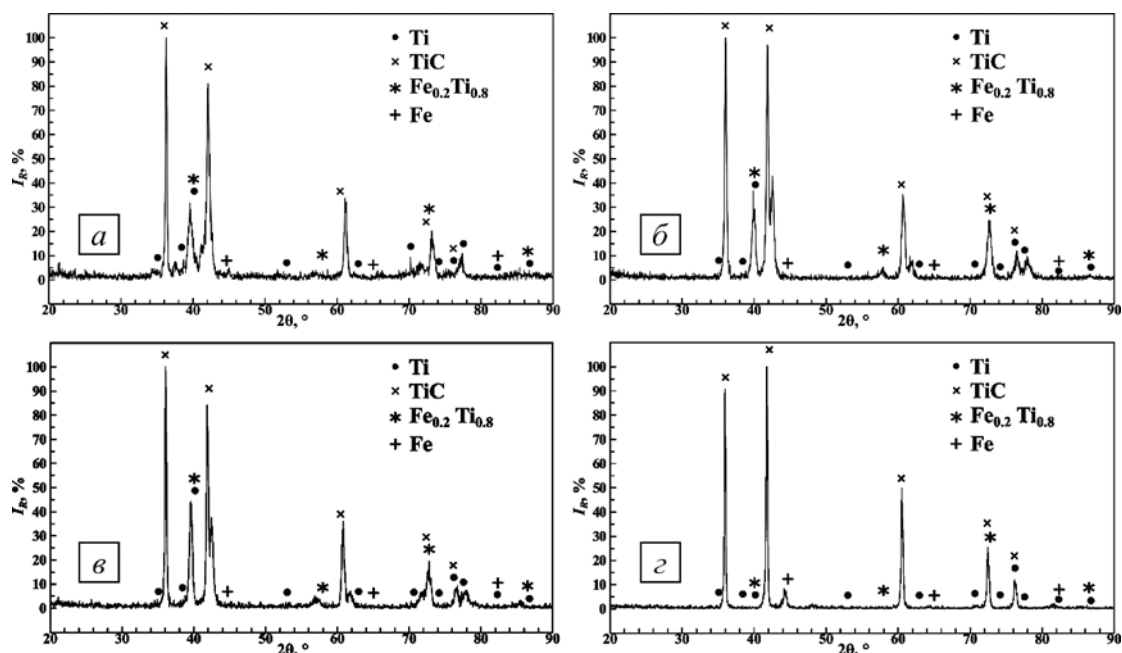


Рис. 5. Дифрактограммы образцов, спеченных из порошковой смеси после ВЭР обработки с удельной энергией 4,5 (а), 9 (б), 18 (в) и 27 МДж/кг (г)

Как следует из рис. 5, при этом возрастает содержание карбида титана, а также появляются фазы интерметаллидов. Если для образцов, консолидированных из шихты, синтезированной при $W_{уд}$ 4,5 МДж/кг, хорошо заметны пики, соответствующие железу, то с возрастанием удельной энергии до 9 и 18 МДж/кг, свободного железа в образце практически не остается. С увеличением удельной энергии от 4,5 до 18 МДж/кг возрастает и количество упрочняющей интерметаллидной фазы состава $Fe_{0,2}Ti_{0,8}$. С возрастанием удельной энергии до 27 МДж/кг в составе образцов вновь фиксируются пики железа и наблюдается полное исчезновение интерметаллидов, что вызвано отсутствием свободного титана (который образует карбид) для реакции с железом. С увеличением энергии обработки при синтезе порошковой шихты во всем диапазоне рассматриваемых энергий количество карбида титана возрастает.

Выводы

Приведенные в работе результаты исследований закономерностей формирования структуры карбидотитановых твердых сплавов методом искро-плазменного спекания порошковой шихты, полученной в результате ВЭР обработки исходной железотитановой порошковой смеси в углеводородной жидкости, и анализ консолидированных порошковых композиций позволяют заключить, что в структуре материала в результате вышеописанной обработки обработки образуется карбидная фаза, количество которой возрастает с увеличением удельной энергии воздействия на порошковую композицию при ее высоковольтной электроразрядными обработке. При этом для образцов, синтезированных при значениях удельной энергии 4,5 и 27 МДж/кг наблюдаются большая пористость и наличие включений свободного углерода. Образцы, синтезированные при 9 и 18 МДж/кг, имеют карбидную каркасную структуру, упрочненную интерметаллидной составляющей.

Розглянуто закономірності формування структури карбідотитанових твердих сплавів методом іскро-плазмового спікання порошкової шихти, отриманої в результаті високовольтної електророзрядної обробки вихідної залізотитанової порошкової суміші у вуглеводневій рідині. Підтверджено ефективність застосування високоенергетичних методів електророзрядного синтезу для впливу на структуру

матеріалу. Отримали розвиток дослідження зі створення принципу синтезу матеріалів у дві стадії. На першій стадії відбувається підготовка поверхні порошків титану і заліза, синтез нановуглецю різних алотропних модифікацій і синтез карбіду титану при високовольтній електророзрядній обробці з питомою енергією від 4,5 до 27 МДж/кг. На другій стадії при іскро-плазмовому спіканні при температурі від 1000 до 1100 °С при часі витримки до 20 хв відбувається синтез карбідтитанового твердого сплаву з високими фізико-механічними характеристиками. Дослідження мікроструктури методами оптичної та електроннооптичної мікроскопії та рентгенофазового аналізу дозволило виявити особливості формування структури твердих сплавів із застосуванням двостадійного підходу, що обумовлюють їх властивості. Показано появу та збільшення кількості зміцнюючих фаз карбіду титану та інтерметаліду в компакт, а також зменшення пористості в ньому зі зростанням питомої енергії обробки порошкової шихти від 4,5 до 18 МДж/кг і появу вільного вуглецю при підвищенні енергії до 27 МДж/кг.

Ключові слова: високовольтний електричний розряд, твердий сплав, порошок, карбід титана, кермет, порошкова шихта, іскро-плазмове спікання

Ye. V. Lypian, O. M. Syzonenko¹, N. O. Oliinyk²

¹Institute of Pulse Processes and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine

²V. N. Bakul Institute for Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine

STRUCTURE OF TITANIUM CARBIDE HARD METALS OBTAINED BY ELECTRIC DISCHARGE SYNTHESIS METHODS

The regularities of the formation of titanium carbide hard metals structure by the method of spark-plasma sintering of the powder mixture, obtained as a result of high-voltage electrical discharge processing of the initial iron-titanium powder mixture in a hydrocarbon liquid, are considered. The effectiveness of the use of high-energy methods of electric-discharge synthesis for influencing the structure of the material was confirmed. The development of the principle of two stages materials synthesis was received. At the first stage, the surface preparation of titanium and iron powders, the synthesis of nanocarbon of various allotropic modifications and the synthesis of titanium carbide at high-voltage electrical discharge processing with specific energy from 4.5 to 27 MJ/kg take place. At the second stage, during spark-plasma sintering at the temperature of from 1000 to 1100 °C, with a dwell time of up to 20 minutes, a synthesis of titanium carbide hard metals with high physical and mechanical characteristics occurs. The study of the microstructure by the methods of optical and electron microscopy and X-ray phase analysis made it possible to reveal the features of the formation of the hard metals structure using the two-stage approach, which determine their properties. The appearance and increase in the number of hardening titanium carbide and intermetallic phases in a compact are shown, as well as a decrease in porosity of compact with an increase in the specific energy of powder batch processing from 4.5 to 18 MJ/kg and the formation of free carbon with an increase in energy to 27 MJ/kg.

Key words: high-voltage electric discharge, hard metals, cemented carbides, powder, titanium carbide, cermet, powder mixture, spark plasma sintering

Литература

1. Панов В. С., Чувилин А. М. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них: учеб. пособие для вузов. – Москва: МИСИС, 2001. – 428 с.
2. Фальковский В. А., Клячко Л. И. Твердые сплавы. – М.: Руда и металлы, 2005. – 416 с.
3. Металлические порошки и порошковые материалы: справочник / Б. Н. Бабич, Е. В. Вершинина, В. А. Глебов и др. ; под ред. Ю. В. Левинского. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 520 с.
4. Ortner H. M., Ettmayer P., Kolaska H. The history of the technological progress of hardmetals // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2014. – V. 44. – P. 148–159.
5. Кюбарсепп Я. Твердые сплавы со стальной связкой. – Таллинн: Валгус, 1991. – 164 с.
6. Витрянюк В. К., Степанчук А. Н. Спеченные безвольфрамовые твердые сплавы. – К.: Випол, 2011. – 248 с.

7. Кульков С. Н., Гнусов С. Ф. Карбидостали на основе карбидов титана и вольфрама / Отв. ред. Е. Ф. Дударев. – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. – 240 с.
8. Гуревич Ю. Г., Нарва В. К., Фраге Н. Р. Карбидостали. – М.: Metallurgiya, 1988. – 144 с.
9. Ypadhyaya G. S. Powder metallurgy technology. – Cambridge: Cambridge International Science Publishing, 2002. – 160 p.
10. Effect of high-voltage electrical discharge treatment of diamond powders on their mechanical characteristics / O. N. Sizonenko, N. A. Oleinik, G. A. Petasyuk et al. // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2013. – V. 52, N 7/8. – P. 365–369.
11. Effect of high-voltage discharge on the particle size of hard alloy powders / O. N. Sizonenko, G. A. Baglyuk, A. I. Raichenko et al. // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2011. – V. 49, N 11/12. – P. 630–636.
12. Липян Е. В., Сизоненко О. Н. Электроразрядная подготовка шихты для получения карбидтитановых твердых сплавов. – Наукові нотатки: міжвуз. зб. (за галузями знань «Технічні науки»). – Луцьк: ЛНТУ, 2017. – Вип. 59. – С. 350–357.
13. Влияние обработки высоковольтным электрическим разрядом на морфометрические характеристики алмазных порошков / Г. П. Богатырева, О. Н. Сизоненко, Н. А. Олейник и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. трудов. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – Вып. 14. – С. 272–277.
14. Электроразрядный синтез наноразмерных металл-углеродных композиционных порошков / О. Н. Сизоненко, Г. А. Баглюк, А. И. Райченко и др. // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнології: щоквартальний зб. наук. праць. – К.: РВВ ІМФ, 2012. – Т. 10. – Вип. 1. – С. 135–144.

Поступила 05.06.19

References

1. Panov, B. S., & Chuvilin, A. M. (2001). *Tekhnologiya i svoystva spechennykh tverdykh splavov i izdelii iz nikh [Technology and properties of sintered hard metals and products made from them]*. Moscow: MISIS [in Russian].
2. Falkovskii, V. A., & Kliachko, L. I. (2005). *Tverdye splavy [Hard metals]*. Moscow: Ruda i metally [in Russian].
3. Babich, B. N., Vershinina, E. V., Glebov, V. A. et al. (2005). *Metallicheskie poroshki i poroshkovye materialy [Metal powders and powder materials]*. Iu. V. Levinskii (Ed.). Moscow: EKOMET [in Russian].
4. Ortner, H. M., Etmayer, P., & Kolaska, H. (2014). The history of the technological progress of hardmetals. *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.*, 44, 148–159.
5. Kiubarsepp, Ya. (1991). *Tverdye splavy so stalnoi svyazkoi [Hard metals with steel bond]*. Tallinn: Valgus [in Russian].
6. Vitrianiuk, V. K., & Stepanchuk, A. N. (2011). *Spechennye bezvolframovye tverdye splavy [Sintered tungstenless cemented carbides]*. – Kyiv: Vipol [in Russian].
7. Kulkov, S. N., & Gniusov, S. F. (2006). *Karbidostali na osnove karbidov titana i volframa [Sintered carbide steels based on titanium and tungsten carbides]*. E. F. Dudarev (Ed.). Tomsk: NTL [in Russian].
8. Gurevich, Yu. G., Narva, V. K., & Frage, N. R. (1988) *Karbidostali [Sintered carbide steels]*. – Moscow: Metallurgiya [in Russian].
9. Ypadhyaya, G. S. (2002). *Powder metallurgy technology*. Cambridge: Cambridge International Science Publishing.

10. Sizonenko, O. N., Oleinik, N. A., Petasyuk, G. A., et al. (2013). Effect of high-voltage electrical discharge treatment of diamond powders on their mechanical characteristics. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 52, 7-8, 365–369.
11. Sizonenko, O. N., Baglyuk, G. A., Raichenko, A. I., et al. (2011). Effect of high-voltage discharge on the particle size of hard alloy powders. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 49, 11-12, 630–636.
12. Lypian, Ye., & Sizonenko, O. (2017). Jelektrozrjadnaja podgotovka shihty dlja poluchenija karbidotitanovyh tverdych splavov [Electric discharge preparation of the powder mixture for titanium carbide hard metals obtainment]. *Naukovi notatky – Scientific notes*, 59, 350–357 [in Russian].
13. Bogatyreva, G. P., Sizonenko, O. N., Oleinik, N. A., et al. (2011). Vliianie obrabotki vysokovoltnym elektricheskim razriadom na morfometricheskie kharakteristiki almaznykh poroshkov [Effect of treatment of high-voltage electrical discharge on morphometric characteristics of diamond powders]. *Porodorazrushaiushchii i metaloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologija ego izgotovleniia i primeneniia – Rock cutting and metalworking tools – equipment and technology of its manufacture and use*, 14, 272–277 [in Russian].
14. Sizonenko, O. N., Bagliuk, G. A., Raichenko, A. I., et al. (2012). Elektorazriadnyi sintez nanorazmernykh metall-uglerodnykh kompozitcionnykh poroshkov [Electrical discharge synthesis of nanosized metal-carbon composite powders]. *Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii – Nanosystems, Nanomaterials, Nanotechnologies*, 10, 1, 135–144 [in Russian].

УДК 621.923: 621.922

DOI: 10.33839/2223-3938-2019-22-1-436-440

В. І. Лавріненко, д-р техн. наук; **В. Г. Полторацький**, **О. О. Пасічний**, кандидати технічних наук; **Г. А. Петасюк**, д-р техн. наук¹; **В. Ю. Солод**, **Д. Г. Музичка**, кандидати технічних наук²

¹Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, вул. Автозаводська, 2, 04074, Київ, e-mail: lavrinenko@ism.kiev.ua

²Дніпровський державний технічний університет МОН України, вул. Дніпробудівська, 2а, 51918, Кам'янське, e-mail: v_solod@ukr.net

АНАЛІЗ НАЯВНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ФІЗИЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ОКСИДІВ ДЛЯ ОТРИМАННЯ МОДИФІКОВАНИХ ТЕРМОСТІЙКИМИ ОКСИДАМИ АЛМАЗНИХ ШЛІФПОРОШКІВ З МЕТОЮ ДОПРАВЛЕННЯ ОКСИДНИХ МАТЕРІАЛІВ В ЗОНУ ОБРОБКИ

Визначені обмеження до вибору оксидів, які можуть нас зацікавити при модифікуванні термостійкими оксидами шліфпорошків синтетичного алмазу та компактів на основі мікропорошків cBN, структурованих вуглцевою зв'язкою. Показано, що до таких оксидів слід віднести значну частину оксидів групи MeO₂ (TiO₂, SiO₂, GeO₂, SnO₂). В меншій мірі можемо застосовувати оксиди Me₂O₃ (N₂O₃, B₂O₃, Al₂O₃), а також MeO (TiO, BaO, BeO, CaO). Визначено, що застосування для модифікації зерен шліфпорошків оксидами типу Me₂O₅ є недоцільним.

Ключові слова: оксиди, фізичні властивості, модифікація оксидами, алмазні шліфпорошки, компакти на основі мікропорошків cBN