

О. Н. СИЗОНЕНКО, д-р техн. наук, вед. науч. сотр., ИИПТ НАН Украины, Николаев;

В.А. ТРЕГУБ, инженер, ИИПТ НАН Украины, Николаев;

А.С. ТОРПАКОВ, млад. науч. сотр., ИИПТ НАН Украины, Николаев;

А.Д. ЗАЙЧЕНКО, млад. науч. сотр., ИИПТ НАН Украины, Николаев;

А.А. ЖДАНОВ, млад. науч. сотр., ИИПТ НАН Украины, Николаев;

Н.С. ПРИСТАШ, млад. науч. сотр., ИИПТ НАН Украины, Николаев;

Е.В. ЛИПЯН, млад. науч. сотр., ИИПТ НАН Украины, Николаев

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ ОБРАБОТКИ ПОРОШКА ТИТАНА

Приведены результаты экспериментальных данных изменения морфологического и химического состава порошков титана при электроразрядной (ЭР) обработке суспензии порошка в керосине при максимальном ослаблении воздействия на порошок волн растяжения-сжатия, возникающих при пробое жидкого диэлектрика (керосина). Произведена оценка влияния эрозионных процессов при электрическом разряде на изменение морфологического и химического состава исходного порошка.

Ключевые слова: электрический разряд, порошок титана, карбид титана, эрозия, диспергирование.

Введение. Карбид титана (TiC) — материал с уникальными свойствами. Это, прежде всего высокая температура плавления, высокая твердость, низкое электросопротивление, высокая теплопроводность, стойкость в агрессивных средах и к абразивному износу. В последнее время ученых привлекают материалы со значительным содержанием TiC, так как именно сплавы на основе TiC могли бы заменить сплавы на основе вольфрама, дефицитность которого на рынке возрастает [1]. Как соединение карбид титана известен около ста лет. За это время подробно изучены традиционные способы его получения (в основном углетермическое восстановление оксидов титана), физические, механические и химические свойства. Наряду с другими карбидами получение и свойства карбида титана достаточно подробно освещены в литературе [1]. Свойства материалов, получаемых методом порошковой металлургии, во многом зависят от подготовки исходного порошка (смеси порошков), а также от метода получения.

Анализ основных достижений и литературы. Как известно, при электроразрядной обработке порошков в жидких средах происходит изменение их морфологических и физико-химических свойств [2, 3]. Стоит отметить, что высоковольтный электрический разряд включает в себя воздействие це-

лого комплекса факторов, однако в различных работах по ЭР воздействию на гетерогенные среды авторы принимают во внимание лишь один из возможных механизмов воздействия. Так, например в [4], рассматривается лишь воздействие волн сжатия и кавитации на дисперсность и морфологические свойства, а в [5] только воздействие тока, как механизм изменения структурно-фазового состава.

В [3] упоминается что, при комплексной обработке электрическими разрядами суспензии металлических порошков в керосине, не представляется возможным определить степень воздействия каждого из факторов в отдельности. От разряда к разряду, вследствие воздействия гидропотоков, локальная концентрация порошка в керосине в значительной мере меняется, что существенно влияет на режим ввода энергии, и как следствие меняется степень воздействия каждого из факторов.

Таким образом, **целью исследований** является изучение влияния эрозионных процессов при ЭР обработке суспензии порошка титана в керосине при максимальном ослаблении воздействия на порошок волн растяжения-сжатия, возникающих при пробое жидкого диэлектрика (керосина).

Методика исследований. Для максимального исключения условий образования волн сжатия и гидропотоков к оконечности электрода была прикреплена насадка в виде плоской розетки (рис. 1) с целью увеличения площади контакта положительного электрода с обрабатываемым порошком.

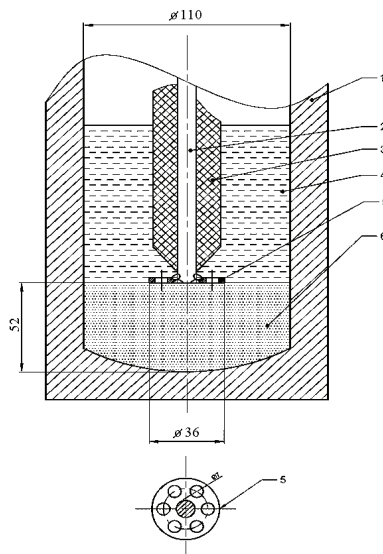


Рисунок 1 – Схема воздействия: 1 – разрядная камера; 2 – токовод; 3 – проходной изолятор; 4 – керосин; 5 – металлическая розетка; 6 – обрабатываемый порошок Ti

Такая форма электрода обеспечивала гальванический контакт с порошком в ходе обработки при изменении первоначального положения порошка, что позволило оценить воздействие фактора электроэрозионных процессов на степень диспергирования и карбидизации.

ЭР обработке подвергался порошок титана, средний размер частиц которого составлял ~ 80 мкм. После обработки порошок высушивался, разделялся по фракциям и исследовался на оптическом микроскопе «Биолам – И». По результатам исследований при помощи компьютерного анализа микрофотографий строились распределения по размерам для каждого из диапазонов, а также общее распределение по размерам.

Количество образовавшейся фазы TiC определялось на дифрактометре ДРОН-3 методом «подмешивания» [6], основанном на сравнении интенсивности линии определяемой фазы с интенсивностью эталонного вещества, количество которого в смеси точно известно. Анализ проводился по следующей схеме. Приготавливалась серия смесей, состоящих из определяемой фазы (TiC) и фазы, являющейся в смесях эталонным веществом (Ti). Количество эталонного вещества в смеси выбирали так, чтобы отношение интенсивностей выбранной пары было пропорционально соотношению масс этих веществ в смеси. Зная, при какой концентрации эталонного и определяемого вещества имеет место данное отношение интенсивностей, определялось количество искомой фазы по градуировочным кривым в координатах интенсивность – концентрация.

В таблице приведены параметры разрядного контура и начальные условия эксперимента. Емкость конденсаторных батарей и масса порошка оставались неизменными. Варьирование единичной энергией разряда осуществлялось путем изменения напряжения заряда накопителя, а количество импульсов при каждом режиме подбиралось таким образом, чтобы интегральная и удельная энергия оставалась неизменной. Таким образом, устанавливалась зависимость морфологического и фазового состава порошка от единичной энергии импульса при ЭР обработке.

Параметры режимов обработки

№ режима	Запасаемая энергия, кДж	Число разрядов	$I_{\max}$, кА
1	1	2500	30,7
2	0,5	5000	23,5
3	0,25	10000	16,7
4	0,125	20000	11,3

Результаты исследований. Практически, при всех режимах обработки, отмечен относительно стабильный характер осциллограмм на протяжении всей обработки в сравнении с комплексной обработкой (с зазором по кероси-

ну) [2,3]. Амплитудное значение первой полуволны разрядного тока при варьировании запасенной энергии изменялось в пределах от 11 до 30 кА. Форма кривой разрядного тока варьировалась от аperiodической при запасенной энергии 0,125 кДж до колебательной при значении запасенной энергии 1кДж.

Однако все же отмечена тенденция к уменьшению колебательности с увеличением количества импульсов. Причем данная тенденция прослеживается более отчетливо при повышении единичной энергии импульса. В режиме 2, к примеру, эта тенденция имеет наиболее отчетливый характер. По осциллограммам разрядного тока и напряжения прослеживается, как уменьшается колебательность контура и амплитудное значение первой полуволны разрядного тока (см. рис. 2).

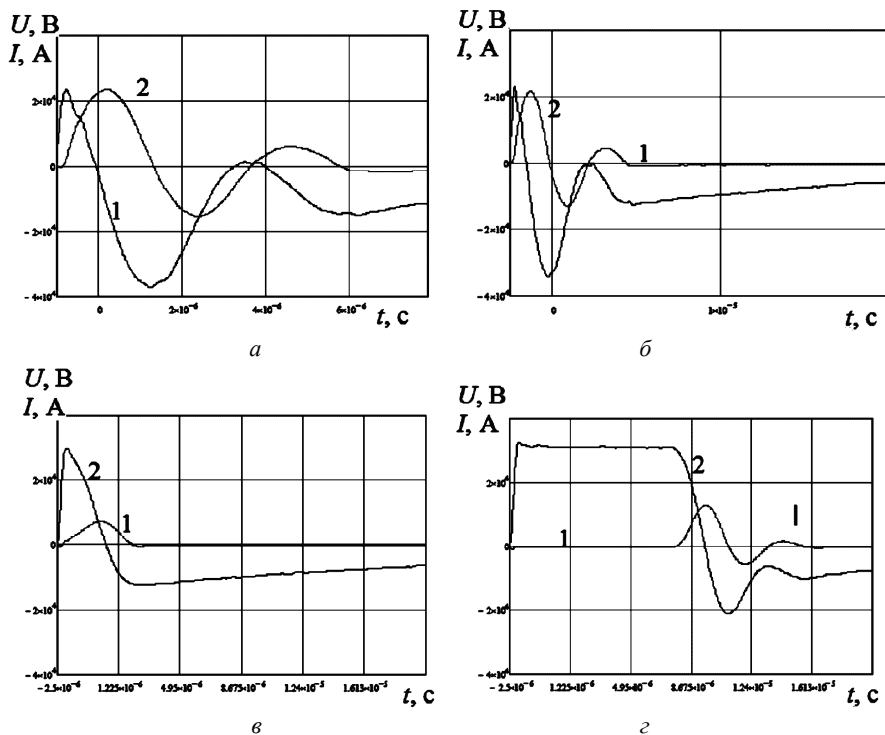


Рисунок 2 – Осциллограммы обработки порошка Ti в режиме №2: 1 – $U(t)$; 2 – $I(t)$; а – 200 разрядов из 4000 разрядов; б – 2000 разрядов из 4000 разрядов; в – 3235 разрядов из 4000 разрядов; з – 3800 разрядов из 4000 разрядов

Подобная картина свидетельствует о том, что в приэлектродной области в течении обработки уменьшается концентрация проводящей фазы. То есть возникающие при электрическом разряде в суспензии гидродинамические

силы вытесняют порошок из приэлектродной области, что приводит к невозможности продолжения обработки. Для исправления ситуации было принято решение приостанавливать обработку и перемешивать образовавшуюся суспензию, с целью восстановить условия необходимые для осуществления разряда, а именно наличие проводящей фазы в приэлектродной зоне.

Как показывают результаты рентгенофазовых исследований, во всех пробах процентное содержание TiC находится в пределах от 3 % до 4 %. В данной серии экспериментов не удалось обнаружить зависимость количества образованных карбидов от единичной энергии разряда.

Распределение процентного содержания частиц $F(d)$ по значениям диаметра порошка Ti после обработки в режиме 1 показало образование частиц в довольно широком диапазоне от единиц до десятков микрон. На распределении отсутствуют ярко выраженные пики каких либо фракций порошка, что характерно для порошков обработанных при других режимах. Также стоит отметить, что размеры около 23 % частиц остались близки к исходным (см. рис. 3).

Снижение единичной энергии разряда в режиме № 2 до 0,5 кДж существенно улучшило результаты. Как видно на рис. 3, исходный порошок полностью диспергировался, образовалось тримодальное распределение процентного содержания частиц по значениям диаметра с максимальным пиком около значения 40 % размером 6 мкм. Два остальных пика, которые приходятся на значения диаметра ~ 12 мкм и ~3 мкм, составляют соответственно 12 % и 11 %.

Дальнейшее снижение запасаемой энергии до 0,25 кДж (в режиме № 3) и амплитудных значениях тока до 16,7 кА привело к незначительному снижению процентного содержания частиц основного пика 6 мкм до 40 %, частиц диаметром от 2 до 3 мкм до ~ 11 % и небольшому увеличению процентного содержания частиц с диаметром 12 мкм до 15 %.

Низкие значения запасаемой энергии (0,125 кДж) при амплитудных значений тока (11,3 кА) в режиме № 4 позволили привести к образованию распределения с основным пиком более 45 % частиц ~ 6 мкм, процентное содержание частиц с диаметром 12 мкм составило 13 % и наблюдалось небольшое (менее 5 %) образование частиц с диаметром от 2 до 3 мкм.

Анализируя результаты данной серии экспериментов, следует выделить низкоэнергетические режимы (№ 3 и № 4). В режиме № 3 образовалось наибольшее количество частиц диаметром ~2-3 мкм, а в режиме №4 было образовано наибольшее количество частиц диаметром ~10 мкм. Скорее всего это связано с тем, что в данных режимах удалось минимизировать воздействие гидротоков, которые оказывали негативное влияние в высокоэнергетических режимах, а именно выносили порошок из приэлектродной области, и не позволяли обеспечить обработку током по всему объему порошка. Также необходимо отметить, что для режимов № 2, 3 и 4 было характерно сохранение характера распределения процентного содержания частиц по значениям

диаметра и отсутствие после обработки частиц порошка с исходными значениями по диаметру.

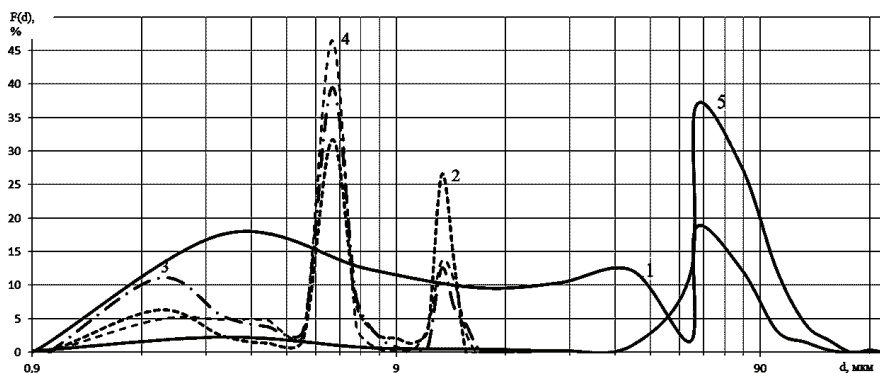


Рисунок 3 – Распределение процентного содержания частиц $F(d)$ по значениям диаметра порошка Ti после обработки с учетом массовых долей по фракциям: 1 – после ЭР обработки в режиме № 1; 2 – в режиме № 2; 3 – в режиме № 3; 4 – в режиме № 4; 5 – исходный порошок

Выводы. Экспериментально установлены условия для высоковольтной электроразрядной обработке током порошков титана – максимальное ослабление воздействия на порошок волн растяжения-сжатия, возникающих при пробое жидкого диэлектрика. Установлены параметры ЭР воздействия без пробоя по керосину, которые позволяют получать высокодисперсный порошок титана дисперсностью менее 10 мкм – интегральная энергия $W_{\Sigma} = 4$ МДж при единичной энергией импульса до 0,5 кДж. При исследуемой схеме воздействия увеличение единичной энергией импульса более 0,5 кДж приводит к возникновению гидротоков, которые способствуют выносу порошка из приэлектродной области и не позволяют обеспечить обработку током по всему объему порошка, что приводят к снижению эффективности диспергирования порошка. Установлено, что при ЭР обработке во всех исследованных режимах происходит образование TiC в количестве ~ 3-4 %.

Работа выполнена при частичной поддержке Гранта № 05-08-12 НАН Украины согласно результатам конкурса НАН Украины – РФФИ 2012 года

Список литературы. 1. Кипарисов С.С. Карбид титана: получение, свойства, применение / С.С. Кипарисов и др. – М.: Металлургия, 1987. – 216 с. 2. Сизоненко О.Н. Влияние электроразрядного воздействия на композицию порошков Fe-Ti-B₄C / О.Н. Сизоненко, Г.А. Баглюк, А.А. Мамонова, Э.И. Тафтай, А.С. Торпаков, А.А. Жданов, А.Д. Зайченко, Е.В. Липян // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. – Луцьк, 2011. – Вип. 31 (червень). – С. 333-343. 3. Сизоненко, О.Н. Влияние высоковольтного электрического разряда на изменение композиции поверхности дисперсных порошков 60Fe40TiC и свойств спеченных материалов / О.Н. Сизоненко и др. // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Техника и электрофизи-

ка высоких напряжений» – 2009. – № 39. – С. 177-184. 4. Бакуль В.Н. Способ дробления сверхтвердых материалов / В.Н. Бакуль, Ю.И. Микитин и др. // Электронная обработка материалов. – 1976. – Вып. 2. – С. 18-22. 5. Журавков, С.П. Исследование физико-химических процессов при электроискровой обработке металлических загрузок в водных растворах / С.П. Журавков, Г.Л. Лобанова, Н.А. Яворовский, В.В. Ан // Сб. трудов международной научной конференции «Становление и развитие научных исследований в высшей школе» посвящ. 100-летию со дня рождения проф. А.А. Воробьева. – Томск, 14 – 16 сентября 2009. – Томск: ТПУ, 2009. – Т. 2. – С. 288-293. 6. Горелик С.С. Рентгенографический и электроннооптический анализ / С.С. Горелик. – Изд. 2-е. – М.: Металлургия, 1970. – 336 с.

Поступила в редколлегию 01.04.2013.

УДК 621.793.8:621.762.5:537.528

Некоторые особенности электроразрядной обработки порошка титана / О. Н. Сизоненко, В.А. Трегуб, А.С. Горпаков, А.Д. Зайченко, А.А. Жданов, Н.С. Присташ, Е.В. Липян // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – № 27 (1000). – С. 99-99. – Бібліогр.: 6 назв.

Наведені результати експериментальних даних зміни морфологічного та хімічного складу ультрадисперсних порошків титану при електророзрядних впливі. Зроблена оцінка впливу виключно струмових процесів на зміну морфологічного і хімічного складу вихідного порошку.

Ключові слова: електричний розряд, порошок, карбід титану, ерозія, диспергування.

The results of the experimental data of the morphological and chemical changes of the composition of powders of titanium after electric arc discharge are given. The evaluation of the influence of current processes only change the morphological and chemical composition of the powder output.

Keywords: electrical discharge, powder, titanium carbide, erosion, dispersion.

УДК 621.31.048.015

А. Ю. ЧЕРНУХИН, мл. науч. сотр., НТУ «ХПІ»;

В. В. КНЯЗЕВ, канд. техн. наук, вед. науч. сотр., НТУ «ХПІ»;

П. Н. МЕЛЬНИКОВ, науч. сотр., НТУ «ХПІ»

КОРРЕЛЯЦИЯ СИЛЫ ТОКА КОРОННОГО РАЗРЯДА СТЕРЖНЕВОГО МОЛНИЕПРИЕМНИКА И НАПРЯЖЕННОСТИ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Описаны результаты исследования тока коронного разряда со стержня квадратного сечения при изменении напряженности электрического поля. Высказано гипотезу об обратимости процессов при спадании и нарастании напряженности электрического поля. Отмечена характерная особенность возникновения провала на осциллограмме тока по мере изменения напряженности электрического поля.

© А. Ю. Чернухин; В. В. Князев, П. Н. Мельников, 2013