

О. Н. Сизоненко, В. А. Трегуб, Э. И. Тафтай

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СЛОЕ ПОРОШКА Ti В КЕРОСИНЕ

Проведено моделювання електророзрядних процесів у шарі порошку Ti в гасі. Проаналізовано залежності розподілу плазмових утворень в обсязі розрядної камери від конфігурації електричного поля і дисперсності порошку за електророзрядної обробки елементарних порошків титану в гасі. Отримані результати можуть бути використані для проектування електророзрядних реакторів під час розробки плазмових технологій.

Ключові слова: електричний розряд, електророзрядне диспергування, титан, плазма, плазмові технології.

Введение

Необходимость создания новых материалов с микро- и нанодисперсной структурой связана с возможностью существенного повышения физико-механических и эксплуатационных характеристик. Известно, что методы объемного электроискрового диспергирования и электроразрядной обработки порошков используются для получения наноразмерных композиционных порошков [2], производства нанокolloидных растворов биологически активных металлов [4], синтеза полидисперсных микро- и наноразмерных порошковых композиций [1].

Общим фактором воздействия для методов объемного электроискрового диспергирования и электроразрядной обработки дисперсных систем является воздействие низкотемпературной плазмы, которая образуется при пробое жидкого диэлектрика вследствие локального импульсного нагрева электрическим током. За счет возникновения плазменных образований между частицами порошка осуществляется оплавление металла и вынос измельченных продуктов из зоны разряда. В то же время плазменные образования являются источниками гидродинамических возмущений в обрабатываемой среде, которые приводят к изменению морфометрических характеристик твердой фазы [3].

Характерным отличием метода электроразрядной обработки порошков от объемного электроискрового диспергирования является многофакторность воздействия. Электроразрядная (ЭР) обработка включает в себя воздействие плазменного канала (подобно электроэрозионному методу), электромагнитных полей, механическое воздействие (волны сжатия–растяжения), мощные гидротоки и объемную микрокавитацию. Интенсивное циклическое тепловое и гидромеханическое воздействие на исходные порошки и их смеси сопровождается увеличением количества дефектов кристаллического строения, что способствует диспергированию. Также вследствие воздействия низкотемпературной плазмы может происходить расплавление или испарение материала на

© Сизоненко Ольга Миколаївна, провідний науковий співробітник Інституту імпульсних процесів і технологій НАН України; Трегуб Володимир Олександрович, Тафтай Едуард Іванович — наукові співробітники цього ж інституту.

стыке частиц, что ведет к изменению их свойств при быстрой рекристаллизации в охлаждающей жидкости.

Перспективность использования ЭР обработки связана с возможностью получения ультрадисперсных микро- и наноразмерных частиц с повышенным уровнем свободной энергии и, как следствие, с повышенной способностью к интенсивному взаимодействию с окружающей средой, в частности, с наночастицами, которые синтезируются при пиролизе углеводородных жидкостей плазменным каналом разряда [1].

Тем не менее, процессы ЭР обработки металлических порошков в жидких диэлектриках остаются недостаточно изученными, несмотря на ряд теоретических предположений и гипотез, представленных в работах [5–8]. В частности, отсутствуют данные о влиянии геометрии используемой электродной системы и дисперсности обрабатываемого порошка на закономерности распределения плазменных образований и характер процесса высоковольтного электрического разряда. Известны работы, в которых подобные исследования выполнялись для объемного электроискрового диспергирования [9], что позволяет использовать схожую методологию для изучения процессов ЭР обработки металлических порошков.

Цель работы — исследовать особенности электроразрядных процессов, происходящих в слое порошка Ti в керосине в зависимости от геометрии электродной системы и дисперсности порошка.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования был порошок Ti фракции (d_{cp}) 1 мм и 100 мкм в керосине осветительном. Для моделирования электроразрядных процессов, происходящих в слое порошка Ti в керосине, была изготовлена плоская, прозрачная разрядная камера, что позволило произвести фотографическую регистрацию разрядов в толще порошка в отличие от обработок в металлической разрядной камере закрытого типа. Расстояние между стенками составляло $D = 2$ мм. В конструкции камеры была предусмотрена возможность использования электродных систем острие-плоскость и плоскость-плоскость для изменения конфигурации электрического поля. В каждом эксперименте выполнялось 20 разрядов, при этом регистрировался каждый 1-й; 5-й; 10-й и 20-й импульс. Для съёмки распределения плазменных образований в толще порошка использовалась зеркальная фотокамера с выдержкой, выставленной на время от 2 до 3 с. Разрядная камера была подключена к конденсаторной батарее ёмкостью $C = 0,1$ мкф. Напряжение варьировалось величиной зазора воздушного разрядника, что позволяло изменять единичную энергию импульса $W_{ед}$ от 11,25 до 45 Дж.

Результаты и их обсуждение

Электрическое поле, обусловленное использованием электродной системы острие-плоскость, при моделировании ЭР-обработки порошка Ti с $d_{cp} = 1$ мм в керосине способствовало неравномерному распределению плазменных образований по объёму камеры. Плазменные образования наблюдали по всему объёму порошка при изменении единичной энергии импульса от $W_{ед} = 11,25$ Дж (эксперимент № 1) до $W_{ед} = 45$ Дж (эксперимент № 2). При этом следует отметить, что в эксперименте № 1 (рис. 1, а) от 1-го до 5-го импульса интенсивность свечения плазменных образований в центральной части камеры и прианодной области была выше, чем в других частях камеры, что может свидетельствовать о более высоком значении плотности тока в данной области.

II. Результати наукових досліджень

На снимке 5-го импульса (рис. 1, б) заметно, что положение порошка изменилось вследствие воздействия на него гидродинамических возмущений в среде. На снимке 10-го импульса (рис. 1, в) следует отметить, что распределение плазменных образований имеет более стохастичный характер, и их плотность в центральной части камеры значительно снизилась. Тенденция к уменьшению плотности более ярких плазменных образований в центральной части камеры наблюдается вплоть до 20 импульса (рис. 1, г), что может быть связано с изменением положения частиц порошка вследствие воздействия на них гидротоков. Увеличение единичной энергии импульса до 45 Дж не привело к качественному изменению картины, однако гидродинамическое воздействие плазменных образований значительно усилилось, что привело к более значительному разбросу частиц порошка из приэлектродных областей.

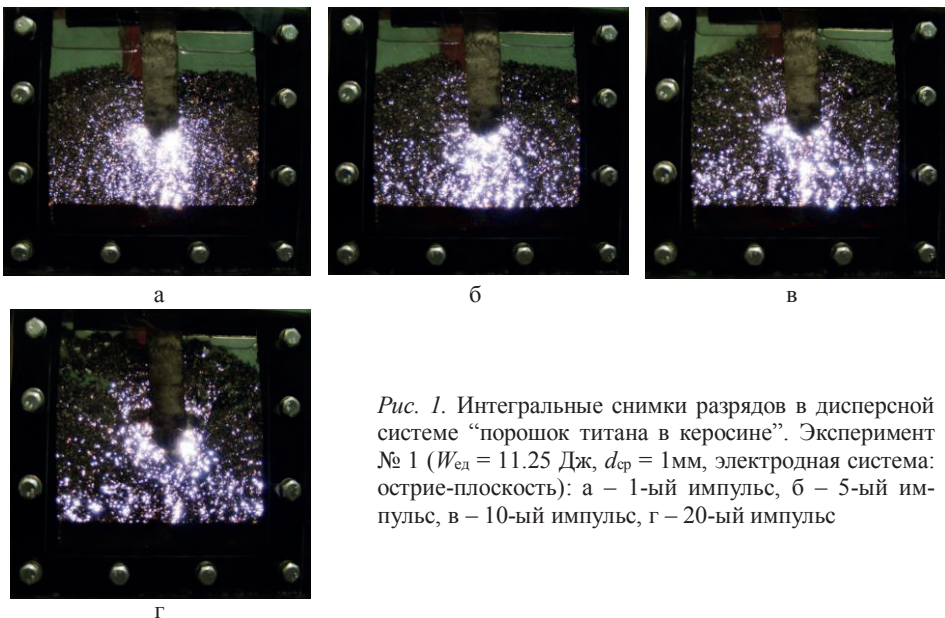


Рис. 1. Интегральные снимки разрядов в дисперсной системе “порошок титана в керосине”. Эксперимент № 1 ($W_{\text{ед}} = 11.25$ Дж, $d_{\text{cp}} = 1$ мм, электродная система: острие-плоскость): а – 1-ый импульс, б – 5-ый импульс, в – 10-ый импульс, г – 20-ый импульс

Уменьшение размеров частиц до $d_{\text{cp}} = 0,1$ мм в эксперименте № 3 и № 4 (при той же конфигурации электрического поля и параметрах контура, что и в экспериментах № 1 и № 2), изменило характерную картину распределения плазменных образований; они были зарегистрированы исключительно в прианодной и прикатодной областях. При этом интенсивность свечения плазменных образований в прикатодной области увеличивается, а в прианодной области имеется тенденция к уменьшению интенсивности свечения (рис. 2). Увеличение интенсивности свечения в прикатодной области можно объяснить тем, что при разрядах в зоне наибольшего электрического сопротивления, в данном случае — прикатодная область, разогрев керосина ведет к его разложению на углерод, водород и углеводородные газы. Водород и углеводородные газы вытесняют порошок из прикатодной зоны, что приводит к увеличению зазора между порошком и катодом (рис. 2, б, в, г), следствием чего является увеличение локального значения электрического сопротивления и количества энергии, выделившейся в данной области. Увеличение $W_{\text{ед}}$ с 11,25 до 45 Дж так же, как и в эксперименте № 2, не привело к качественному изме-

нению картины, а гидродинамическое воздействие плазменных образований усилилось.

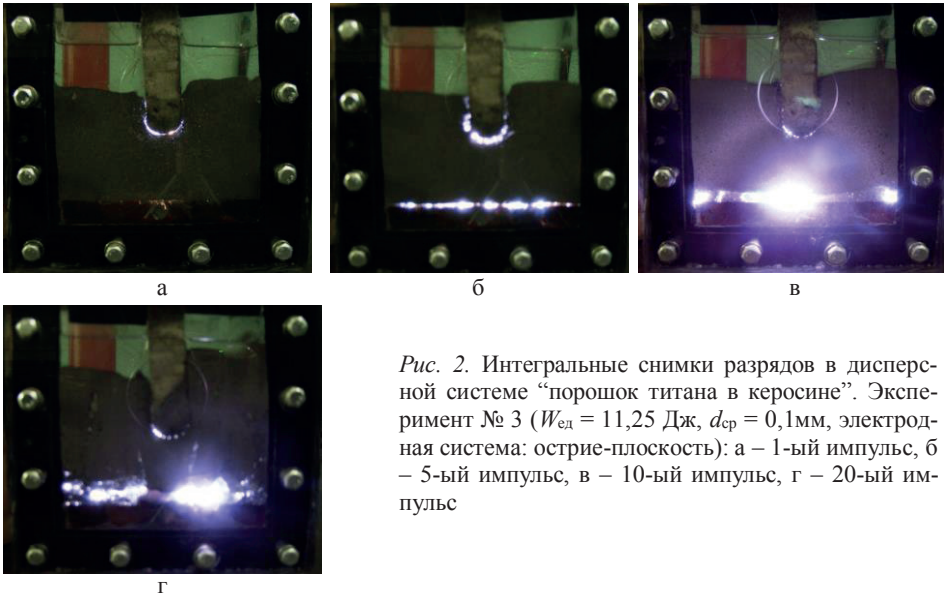


Рис. 2. Интегральные снимки разрядов в дисперсной системе “порошок титана в керосине”. Эксперимент № 3 ($W_{\text{ед}} = 11,25$ Дж, $d_{\text{ср}} = 0,1$ мм, электродная система: острие-плоскость): а – 1-ый импульс, б – 5-ый импульс, в – 10-ый импульс, г – 20-ый импульс

Смена электродной системы на плоскость-плоскость в эксперименте № 5 привела к изменению конфигурации электрического поля (Ti $d_{\text{ср}} = 1$ мм, $W_{\text{ед}} = 11,25$ Дж) и, как следствие, равномерному распределению плазменных образований по всему объёму камеры. В отличие от эксперимента № 1 не наблюдалось выброса порошка из прианодной области, что, в свою очередь, обеспечило равномерное распределение плазменных образований, которое оставалось практически неизменным в течение всей обработки (рис. 3).



Рис. 3. Интегральные снимки разрядов в дисперсной системе “порошок титана в керосине”. Эксперимент № 5 ($W_{\text{ед}} = 11,25$ Дж, $d_{\text{ср}} = 1$ мм, электродная система: плоскость-плоскость): а – 1-ый импульс, б – 5-ый импульс, в – 10-ый импульс, г – 20-ый импульс

II. Результати наукових досліджень

Уменьшение размеров частиц до $d_{\text{ср}} = 0,1$ мм при конфигурации электрического поля, обусловленной электродной системой плоскость-плоскость (эксперимент № 6), не привело к каким-либо качественным изменениям. Плазменные образования наблюдали исключительно в прианодной и прикатодной областях (рис. 4), причем в прианодной области интенсивность свечения плазменных образований не изменялась в отличие от прикатодной области. В прикатодной области за счет вытеснения порошка продуктами разложения керосина увеличивался зазор между слоем порошка и отрицательным электродом, что, в свою очередь, приводило к увеличению локального значения электрического сопротивления данного участка.

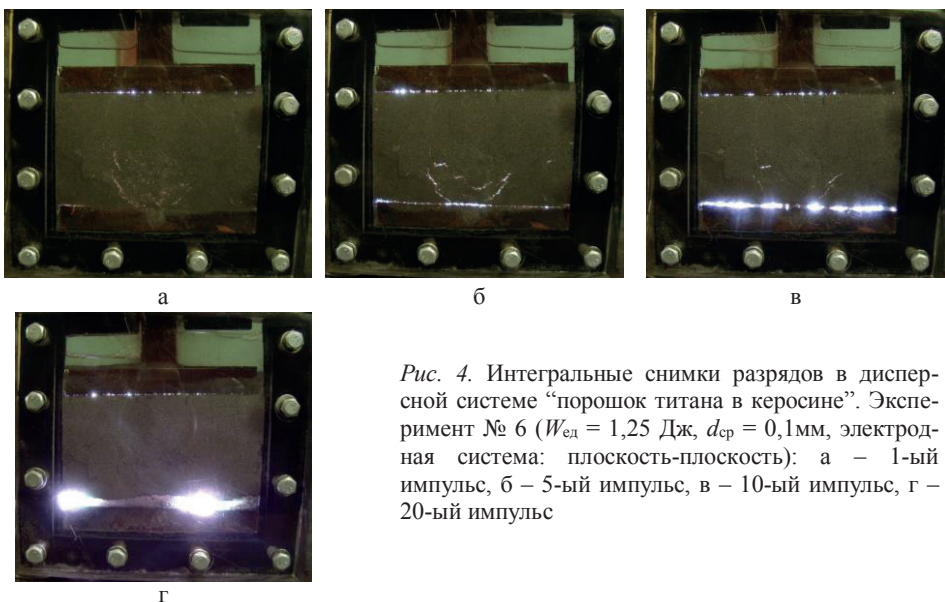


Рис. 4. Интегральные снимки разрядов в дисперсной системе “порошок титана в керосине”. Эксперимент № 6 ($W_{\text{ед}} = 1,25$ Дж, $d_{\text{ср}} = 0,1$ мм, электродная система: плоскость-плоскость): а – 1-ый импульс, б – 5-ый импульс, в – 10-ый импульс, г – 20-ый импульс

Полученные результаты могут быть использованы для проектирования электроразрядных реакторов при разработке плазменных технологий. Выбор электродной системы и единичной энергии импульса позволяет регулировать перемешивание порошков гидротоками и способствует равномерности распределения прореагировавших химических соединений по объёму порошка. Зависимость характера распределения плазменных образований в разрядной камере от дисперсности обрабатываемого продукта показала возможность разработки новых технологических приёмов ЭР обработки порошков, ориентированных как на изменение морфометрических характеристик твердой фазы, так и ее фазового состава.

Выводы

Установлена зависимость распределения плазменных образований в объёме камеры от конфигурации электрического поля, определяемого электродной системой. Применение электродной системы острие-плоскость приводит к увеличению плотности плазменных образований в центральной части камеры и, как следствие, к увеличению плотности тока и доли энергии, выделившейся в данной области, а также к изменению положения порошка в отличие от обработок с электродной системой плоскость-плоскость.

Интенсивность гидродинамического воздействия увеличивается с увеличением единичной энергии импульса от 11,25 до 45 Дж.

Влияние конфигурации электрического поля на распределение плазменных образований сводится к минимуму при уменьшении дисперсности обрабатываемого порошка.

Полученные результаты могут быть использованы для проектирования электроразрядных реакторов при разработке плазменных технологий.

Проведено моделювання електроразрядних процесів в шарі порошку Ti в керосині. Проаналізовані залежності розподілу плазменних образів в об'ємі розрядної камери від конфігурації електричного поля і дисперсності порошку при електроразрядній обробці елементарних порошків титану в керосині. Отримані результати можуть бути використані для проектування електроразрядних реакторів при розробці плазменних технологій.

Ключевые слова: электрический разряд, электроразрядное диспергирование, титан, плазма, плазменные технологии.

Modeling of heat processes in a layer of Ti powder in kerosene is conducted. Dependence of the distribution of plasma formations in the volume of the discharge chamber on the configuration of the electric field and the fineness of the powder treated with electro elemental powders of titanium in kerosene is explored. The results can be used for the design of electric reactors in the development of plasma technology.

Keywords: electric discharge, electric discharge dispersion, titanium, plasma, plasma technology.

1. *Sizonenko O. N.* High voltage electric discharge in liquid as a method of preparation of blend for carbide steels / O. N. Sizonenko, E. G. Grigoriev, A. D. Zaichenko et al. // International virtual journal for science, technics and innovations for the industry. Year VII Issue 10/2013 – P. 19–22.
2. *Галанов А. И.* Получение наноразмерных композиционных порошков методом эрозии металлических гранул импульсным электрическим разрядом в жидких средах / А. И. Галанов, Я. И. Корнеев, Н. А. Яворский, Г. Г. Савельев, Т. А. Юрмазова, Г.Л. Лобанова, Л.Н. Шиян, Ф.П.Сапрыкин [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://edu.convdocs.org/docs/2172/index-279756.html>.
3. *Намитоков К. К.* Электроэрозионные явления – М.: Энергия, 1978. – 456 с.
4. *Щерба А. А.* Разрядно-импульсные системы производства нанокolloидных растворов биологически активных металлов методом объёмного электроискрового диспергирования / А. А. Щерба, С. Н. Захарченко, К. Г. Лопатко и др. // Праці ІЕД НАНУ. Вип. 26 (2010) – С. 152–160.
5. *Агеев Е. В.* Исследование влияния электрических параметров установки на процесс порошкообразования при электроэрозионном диспергировании отходов твердого сплава / Е. В. Агеев, Б. А. Семенихин, Р. А. Латыпов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Т. 11, № 5(2). – 2009.

II. Результати наукових досліджень

6. *Меерсон Г. А.* Электроимпульсный способ получения порошков металлов и сплавов / Г. А. Меерсон, Г. А. Кассир, Е. М. Темников // Порошковая металлургия. – 1976. – № 2. – Вып. 146. – С. 9–15.
7. *Щерба А. А.* Моделирование и анализ электрического поля в диэлектрической среде, возмущенного проводящими микровключениями разных размеров и конфигураций / А. А. Щерба, М. А. Щерба // Техническая электродинамика. – 2010. – № 6. – С. 3–9.
8. *Щерба А. А.* Закономірності змінення електричного опору шару алюмінієвих гранул при їх електроіскровому диспергуванні / А. А. Щерба, С. М. Захарченко, Л. Ю. Спінул // Техническая электродинамика. – 2012. – № 5. – С. 17–27.
9. *Щерба А. А.* Влияние параметров электрических разрядов на динамику искроразрядных каналов при объемной электроискровой обработке плоского слоя токопроводящих гранул / А. А. Щерба, С. В. Петриченко // Технічна електродинаміка. Темат. вип. “Силова електроніка та енергоефективність”. – 2002. – Ч. 3. – С. 61–65.