

УДК 621.762.3:537.528

*А. С. ТОРПАКОВ, О. Н. СИЗОНЕНКО, Э. И. ТАФТАЙ***ВЛИЯНИЕ СОСТАВА РАБОЧЕЙ СРЕДЫ НА СКОРОСТЬ ФРОНТА ВОЛНЫ ДАВЛЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА**

Приведены результаты экспериментальных исследований скорости фронта волны давления с помощью волноводного пьезоэлектрического датчика при высоковольтном электрическом разряде в воде и в воде с добавлением порошка Ti, керосине и керосине с добавлением порошка Ti. Экспериментально установлены условия формирования ударной волны и связь скорости фронта волны давления с дисперсионной средой, количеством дисперсной фазы и параметрами разрядного контура при ВЭР в дисперсной системе «порошок – жидкость».

Ключевые слова: электрический разряд, порошок титана, скорость фронта, ударная волна, дисперсная система.

Введение. Высококачественную полидисперсную шихту для метало-матричных композитов (ММК) можно получать, используя высоковольтный электрический разряд (ВЭР) [1]. При ВЭР в дисперсных системах «порошок – жидкость» на систему воздействует ряд факторов – высокая температура и давление в плазменном канале разряда, волна давления, возникающая при расширении канала разряда, мощные гидротоки при пульсации парогазовой полости, объемная микрокавитация и токи, протекающие через частицы металлического порошка [2]. Использование в качестве дисперсионной среды углеводородной жидкости (в частности, керосина) при ВЭР вызывает ее деструкцию и разложение молекул углеводородов в канале ВЭР и микроплазменных каналах между частицами порошка. Образующиеся при этом частицы нанокремнезема различных аллотропных форм взаимодействуют с частицами обрабатываемого порошка, в результате чего синтезируются дисперсноупрочняющие карбидные фазы [1]. В работах [1, 3, 4] показано, что электроразрядная подготовка порошков к консолидации обладает рядом преимуществ перед механическими методами – отсутствует окисление частиц порошков и загрязнение аппаратным материалом при более высокой энергоэффективности и меньшем времени обработки. В известных работах [1, 3, 4] показана необходимость повышения эффективности ВЭР диспергирования и активации частиц на стадии их взаимодействия с волнами давления.

Анализ основных достижений и литературы. Для обеспечения эффективного диспергирования необходимо создать условия, при которых волна давления будет взаимодействовать с частицами обрабатываемого порошка. Препятствовать этому может явление дифракции, которая происходит, когда длина волны сравнима (или больше) размера находящегося на пути волны объекта (в данном случае частицы порошка). Согласно работам [1, 3, 4] длительность первого полупериода тока в канале разряда при ВЭР подготовке шихты составляет порядка 1 мкс, при этом порядок значения длины волны давления составляет 1 мм [5]. Соответственно, дифракция волны давления на частицах возможна при обработке порошков со средним диаметром менее 1 мм, наиболее часто используемых в порошковой металлургии, что может привести к снижению эффективности механического волнового воздействия, так как при дифракции волна давления

оглабает частицы, не взаимодействуя с ними.

В работе [6] показано, что формирование в среде ударных волн позволяет воздействовать на частицы диаметром значительно менее 1 мм, так как ширина фронта ударной волны в жидкостях не превышает 100 Å. Во фронте ударной волны происходит быстрый рост плотности, давления и температуры жидкости [7], поэтому при взаимодействии фронта ударной волны с частицей в ней возникает скачок давления, плотности, удельной внутренней энергии и других характеристик, который распространяется со сверхзвуковой скоростью. За счет многократных циклических динамических нагрузок происходит накопление локальных градиентов остаточной температуры за фронтом ударной волны, что приводит к снижению энергии разрушения кристаллов [8]. Быстрая разгрузка твердых тел, даже весьма пластичных, нагруженных высоким механическим давлением, приводит к восстановлению равновесных межатомных расстояний в веществе со скоростью, близкой к скорости звука в данном материале. При этом высвободившаяся механическая энергия сжатия переходит в кинетическую энергию отдельных элементов субструктуры материала (микрообъемов). Если эта энергия больше некоторого порогового значения, то разгрузка приводит к разрыву внутренних связей по наиболее дефектным зонам и диспергированию частиц.

Следовательно, для достижения эффективного диспергирования частиц порошков необходимо обеспечить режим возникновения ударных волн в объеме разрядной камеры при воздействии ВЭР. Как известно, ударная волна возникает, когда скорость фронта волны давления превышает скорость звука в среде.

К сожалению, связь между скоростью фронта волны давления и параметрами ВЭР обработки, особенно при ВЭР в дисперсной системе «порошок – жидкость», в известных работах [2, 5, 9, 10] раскрыта недостаточно. В работе [11] установлено влияние дисперсионной среды, дисперсной фазы и параметров разрядного контура на амплитуду волны давления при ВЭР обработке порошков и показано, что происходит диссипация энергии волны давления на частицах порошка, находящихся во взвешенном состоянии в дисперсионной среде. Поэтому вызывает интерес рассмотреть возможность формирования ударной волны при ВЭР в дисперсной системе «порошок – жидкость» для повышения эффективности диспергирования, ак-

тивации и инициации фазовых переходов в обрабатываемых порошках

В связи с этим, **целью** данной работы является установление условий формирования ударной волны при ВЭР в дисперсной системе «порошок – жидкость».

Методика исследований. Исследования выполнялись в разрядной камере с пьезоэлектрическим волновым датчиком давления (ВДД). Схема разрядного контура соответствует схеме, приведенной в работе [1]. Схема подключения датчика и методика обработки сигналов, поступивших с него, подробно описана в работе [11].

Исследования влияния состава рабочей среды при ВЭР в дисперсной системе «порошок – жидкость» на скорость фронта волны давления выполнялись при условиях, соответствующих условиям, в которых была выполнена работа [11]:

- объем рабочей жидкости 5,5 дм³;
- в качестве рабочей среды использовались дистиллированная вода, дистиллированная вода с добавлением порошка Ti ($d_{cp}=17$ мкм) массой 500 г (массовое соотношение Т:Ж – 1/11), керосин, керосин с добавлением порошка Ti ($d_{cp}=17$ мкм) массой 250 и 500 г (массовое соотношение Т:Ж 1/18 и 1/9 соответственно).

Параметры контура:

- емкость накопителя варьировалась от 0,4 до 1,6 мкФ;
- разрядный промежуток составлял 28 мм для режимов с использованием дистиллированной воды и 12 мм для режимов с использованием керосина.

Рабочее напряжение составляло 50 кВ.

При анализе результатов, приведенных в работе [11], авторами было замечено, что на осциллограммах сигнала ВДД (см. рис. 1) кроме сигнала, соответствующего волне давления (см. рис.1, 1) присутствует также сигнал электрической наводки (см. рис. 1, 2). По форме данный сигнал наводки совпадает с кривой разрядного тока (см. рис. 2, кривая 1).

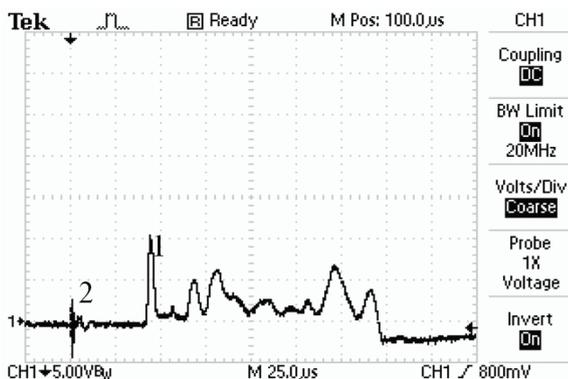


Рисунок 1 – Осциллограмма сигнала ВДД при исследованиях в дистиллированной воде с добавлением порошка Ti, $C=1,6$ мкФ, $L=0,7$ мкГн: 1 – основной пик на осциллограмме сигнала ВДД, соответствующий амплитуде давления; 2 – электрическая наводка, возникающая в момент высоковольтного пробоя рабочей среды

Это позволяет идентифицировать на осциллограмме сигнала ВДД момент времени, соответствующий

возникновению канала ВЭР, что дает возможность оценить по осциллограмме время, за которое волна давления доходит от канала разряда до ВДД. В свою очередь, зная время прохождения волны и расстояние от канала разряда до датчика, возможно определение скорости фронта волны давления:

$$v = r_0/t_e, \quad (1)$$

где r_0 – расстояние от канала разряда до ВДД, м; t_e – время распространения волны давления, с.

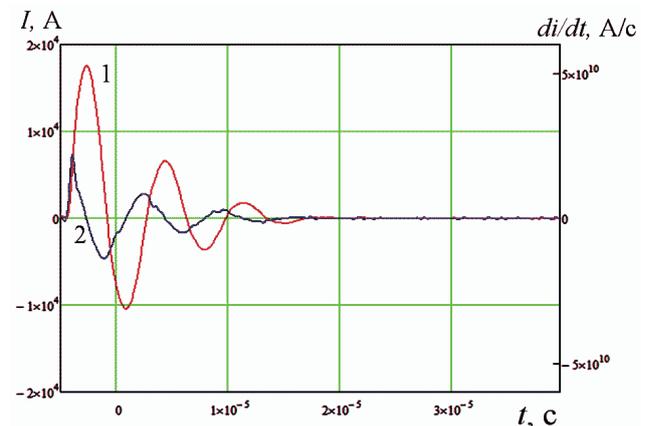


Рисунок 2 – Электрические характеристики ВЭР при исследованиях в дистиллированной воде с добавлением порошка Ti, $C=1,6$ мкФ, $L=0,7$ мкГн: 1 – кривая разрядного тока, 2 – кривая мгновенной скорости нарастания тока

При этом моментом начала отсчета времени распространения волны давления согласно [5] считался момент достижения скоростью нарастания тока в канале разряда максимального значения (см. рис. 2, кривая 2). Тогда:

$$t_e = t_0 - t_m, \quad (2)$$

где t_0 – время, прошедшее между началом процесса ВЭР и появлением сигнала волны давления с датчика, с; t_m – время, прошедшее между началом процесса ВЭР и максимумом скорости нарастания тока в канале разряда, с.

Моментом появления канала разряда считался момент появления электрической наводки на сигнале датчика (см. рис.1, 2).

ВЭР в дисперсных системах является стохастическим процессом и определение точного расстояния между каналом разряда и датчиком для каждого отдельного разряда крайне затруднено. Поэтому обработка результатов исследований проводилась статистическим методом, а в качестве расстояния между каналом разряда и датчиком принималось расстояние между осью симметрии электрода-острия и датчиком, составлявшее 63 мм. Так же, как и в работе [11], каждая экспериментальная точка представляет собой среднее арифметическое значение выборки из не менее, чем 30 разрядов.

Результаты исследований. Анализ изменения скорости фронта волны давления в дистиллированной воде и дистиллированной воде с добавлением порошка Ti (соотношение Т:Ж 1/11) при варьировании емкостью батареи накопителей показывает, что во всем диапазоне исследований значение скорости волны

давления (см. рис. 3) превышает скорость звука в дистиллированной воде ($v=1493$ м/с при н. у.), что свидетельствует о формировании ударных волн. При этом статистическая значимость полученных результатов относительно скорости звука составляет от σ (для режимов с $C=0,4$ мкФ) до 2σ (для ВЭР в дистиллированной воде при $C=1,6$ мкФ). Здесь σ – стандартное отклонение выборки экспериментальных данных, м/с (см. рис. 3, кривые 2 и 4) [10]. Эти результаты свидетельствуют о том, что при ВЭР как в дистиллированной воде, так и в дистиллированной воде с добавлением порошка Ti, в рассмотренных режимах волна давления представляет собой ударную волну. При этом следует учесть, что, согласно данным работы [9], скорость фронта волны давления при ВЭР снижается по мере увеличения расстояния от оси канала разряда, приближаясь к скорости звука в среде. Соответственно, в приканальной области скорость фронта волны давления значительно превышает экспериментально зафиксированные на ВДД значения. Поэтому даже не столь значительное, но статистически значимое экспериментально зафиксированное превышение скоростью фронта волны давления на ВДД скорости звука в среде является свидетельством существования ударных волн в приканальной зоне.

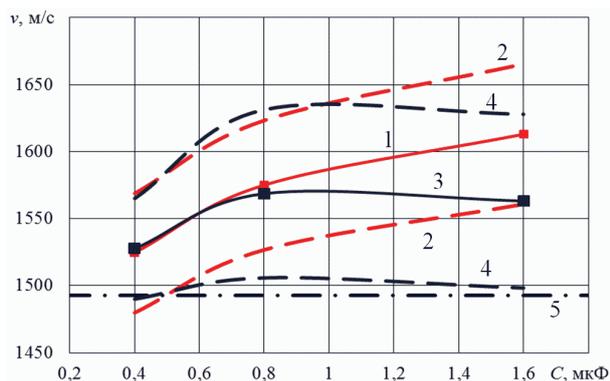


Рисунок 3 – Скорость фронта волны давления при ВЭР с использованием дистиллированной воды в качестве дисперсионной среды: 1 – скорость фронта волны давления при ВЭР в дистиллированной воде; 2 – стандартное отклонение экспериментальных данных при ВЭР в дистиллированной воде; 3 – скорость фронта волны давления при ВЭР в дистиллированной воде с добавлением порошка Ti (соотношение Т:Ж 1/11); 4 – стандартное отклонение экспериментальных данных при ВЭР в дистиллированной воде с добавлением порошка Ti (соотношение Т:Ж 1/11); 5 – скорость звука в дистиллированной воде

Анализ закономерности изменения скорости фронта волны давления при ВЭР в дистиллированной воде (см. рис. 3, кривая 1) показывает, что при увеличении емкости накопителя в рассмотренном диапазоне скорость фронта волны давления возрастает с 1525 м/с при $C=0,4$ мкФ до 1613 м/с при $C=1,6$ мкФ. Стандартное отклонение экспериментальных данных при этом практически не изменяется. Добавление в дистиллят порошка Ti в режимах с $C=0,4$ мкФ и $C=0,8$ мкФ не приводит к значимому изменению скорости фронта волны давления (см. рис. 3, кривая 3).

При этом в режиме с $C=0,8$ мкФ происходит не-

значительное увеличение стандартного отклонения экспериментальных данных, что свидетельствует о увеличении разброса геометрических положений канала разряда в объеме разрядной камеры. В отличие от ВЭР в дистилляте, повышение емкости накопителя до $C=1,6$ мкФ не приводит к увеличению скорости фронта волны давления (см. рис. 3, кривые 1 и 3). При этом согласно данным, приведенным в [11], экспериментально регистрируемая ВДД амплитуда волны давления в данном режиме (111 МПа) превышает амплитуду волны давления в режимах с $C=0,4$ и $0,8$ мкФ (30 и 70 МПа соответственно).

Возможным объяснением этого может служить то, что при повышении энергии единичного разряда повышается мощность гидротоков [2], что приводит к увеличению концентрации твердой фазы в экваториальной плоскости канала разряда, находящейся во взвешенном в дисперсионной среде состоянии. Согласно [13, 14], при взаимодействии фронта ударной волны с дисперсной фазой происходит существенное снижение его скорости при незначительном снижении амплитуды.

Результаты экспериментальных исследований скорости фронта волны давления при ВЭР в керосине и в керосине с добавлением порошка Ti (соотношение Т:Ж 1/18) (см. рис. 4) существенно отличаются от случая ВЭР с использованием дистиллированной воды в качестве дисперсионной среды. При ВЭР в керосине в режимах с $C=0,4$ и $0,8$ мкФ скорость фронта волны давления в пределах погрешности совпадает со значением скорости звука в керосине ($v=1330$ м/с при н. у.). Однако стандартное отклонение экспериментальных данных достаточно велико (65 м/с), что позволяет предположить существование ударной волны в приканальной зоне при отдельных разрядах из серии.

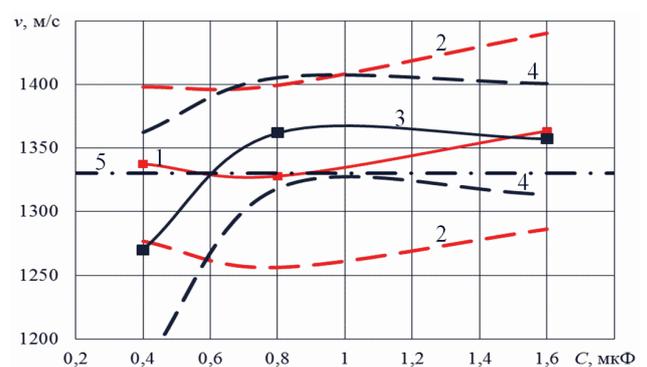


Рисунок 4 – Скорость фронта волны давления при ВЭР с использованием керосина в качестве дисперсионной среды: 1 – скорость фронта волны давления при ВЭР в керосине; 2 – стандартное отклонение экспериментальных данных при ВЭР в керосине; 3 – скорость фронта волны давления при ВЭР в керосине с добавлением порошка Ti (соотношение Т:Ж 1/18); 4 – стандартное отклонение экспериментальных данных при ВЭР в керосине с добавлением порошка Ti (соотношение Т:Ж 1/18); 5 – скорость звука в керосине

Увеличение емкости накопителя до 1,6 мкФ приводит к увеличению среднего значения скорости фронта волны давления до 1363 м/с, при этом значение стандартного отклонения сохраняется. Статисти-

ческая значимость этого результата относительно скорости звука составляет $0,6\sigma$. Это свидетельствует о том, что вероятность формирования ударных волн в данном режиме повышается, однако ударные волны формируются не в каждом разряде из серии. Таким образом, изменение состава дисперсионной среды с дистиллированной воды на керосин приводит к необходимости снижения величины межэлектродного промежутка с 28 до 12 мм, что в свою очередь приводит к снижению как амплитуды [11], так и скорости фронта волны давления.

Добавление в керосин порошка Ti (соотношение Т:Ж 1/18) приводит к снижению скорости фронта волны давления в режиме с $C=0,4$ мкФ до 1270 м/с (см. рис. 4, кривая 3), что меньше скорости звука в керосине. Повышение емкости накопителя до 0,8 мкФ позволило повысить скорость фронта волны давления до 1360 м/с. Статистическая значимость этого результата относительно скорости звука составляет $0,7\sigma$. Это позволяет предположить существование ударных волн при значимой доле разрядов (более 50 %). Повышение емкости накопителя до 1,6 мкФ не приводит к существенным изменениям экспериментально регистрируемой скорости фронта волны давления. При этом согласно результатам, приведенным в работе [11], амплитуда давления на ВДД в данном режиме возрастает с 10 до 13 МПа, что подтверждает предположение о взаимодействии фронта волны давления со взвешенными в дисперсионной среде частицами дисперсной фазы.

При добавлении порошка Ti в дистиллированную воду значение стандартного отклонения выборки (см. 3, кривые 4) возрастает относительно стандартного отклонения выборки, соответствующей исследованиям скорости фронта волны давления при ВЭР в дистиллате (см. рис. 3, кривые 2). Однако добавление порошка Ti в керосин приводит наоборот, к снижению значения стандартного отклонения (см рис. 4, кривые 4 и 2). Из этого можно сделать вывод, что при значении межэлектродного промежутка 28 мм наличие находящихся во взвешенном состоянии дисперсных частиц увеличивает разброс геометрических положений канала разряда, тогда как при разрядном промежутке 12 мм частицы наоборот, стабилизируют разряд.

Исследования изменения скорости фронта волны давления в процессе обработки (см. рис. 5) при добавлении в керосин порошка Ti (соотношение Т:Ж 1/9) показывают, что в результате увеличения количества дисперсных частиц обрабатываемого порошка и синтезируемого нанопорошка скорость фронта волны давления снижается с 1366 м/с при 50 разрядах до 1311 м/с при 100 разрядах.

Согласно данным, приведенным в [11], при этом снижается и экспериментально регистрируемая амплитуда давления. Снижение количества дисперсных частиц, находящихся во взвешенном состоянии в дисперсионной среде, путем организации паузы на 2 часа, приводит к восстановлению значения экспериментально регистрируемой скорости фронта волны давления. Несмотря на то, что снижение количества твердой фазы в 2 раза (до соотношения Т:Ж 1/18) приво-

дит к повышению амплитуды давления волны сжатия [11], скорость ее фронта не изменяется.

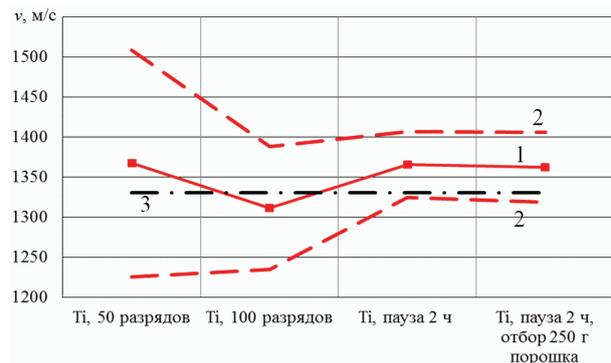


Рисунок 5 – Скорость фронта волны давления при ВЭР в керосине с добавлением порошка Ti : 1 – скорость фронта волны давления; 2 – стандартное отклонение экспериментальных данных; 3 – скорость звука в керосине

Снижение скорости выделения энергии в канале разряда путем увеличения индуктивности разрядного контура в $\sim 3,3$ раза с 0,83 до 2,76 мкГн приводит к снижению скорости фронта волны давления с 1328 до 1283 м/с (см. рис. 6). При этом стандартное отклонение экспериментальных данных значительно увеличилось (с 72 до 127 м/с), что свидетельствует об увеличении разброса геометрического положения канала разряда. Таким образом, снижение скорости выделения энергии в канале разряда снижает не только амплитуду волны давления [11], но и скорость ее фронта. Это свидетельствует о том, что одним из условий формирования ударной волны при ВЭР в дисперсной системе «керосин – порошок» является обеспечение индуктивности разрядного контура не более 0,9 мкГн.

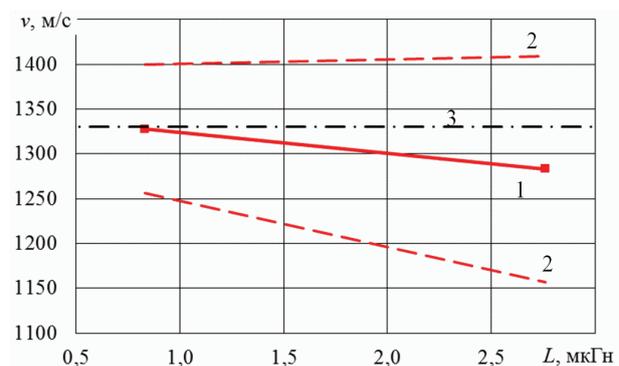


Рисунок 6 – Скорость фронта волны давления при ВЭР в керосине при $C=0,8$ мкФ: 1 – скорость фронта волны давления; 2 – стандартное отклонение экспериментальных данных; 3 – скорость звука в керосине

Выводы. Экспериментально установлены условия формирования ударной волны при ВЭР в дисперсной системе «порошок – жидкость» и связь скорости фронта волны давления при ВЭР в дисперсной системе «порошок – жидкость» с дисперсионной средой, количеством дисперсной фазы и параметрами разрядного контура. Условием формирования ударных волн при ВЭР в керосине с добавлением порошка Ti концентрацией 1/9 и 1/18 при $U=50$ кВ является

обеспечение емкости батареи накопителей не менее 0,8 мкФ и индуктивности разрядного контура не более 0,9 мкГн. Установлено существование ударных волн при ВЭР в дистиллате и в дистиллате с добавлением порошка Ti концентрацией 1/11 во всех рассмотренных режимах при $U=50$ кВ и емкости накопителя от 0,4 до 1,6 мкФ.

Список литературы. 1. Sizonenko O. N. Variation in the Particle Size of Fe-Ti-B₄C Powders Induced by High-voltage Electrical Discharge / O. N. Sizonenko, G. A. Baglyuk, A. I. Raichenko [et al.] // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2012. – Vol. 51, Iss. 3. – P. 129–136. **2.** Гулий, Г. А. Научные основы разрядно-импульсных технологий / Г. А. Гулий. – К.: Наукова думка, 1990. – 208 с. **3.** Sizonenko, O. Plasma technologies for obtainment of composite materials dispersion hardened by nanostructured particles / O. Sizonenko, V. Tregub, N. Pristash et al. // International virtual journal for science, technics and innovations for the industry. – ISSN 1313 0226, Year IX Issue 1/2015. – P. 32–35. **4.** Sizonenko O. N. Dispersion and Carburization of Titanium Powders by Electric Discharge / O. N. Sizonenko, G. A. Baglyuk, E. I. Taftai et al. // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2013. – Vol. 52, Iss. 5-6. – P. 247–253. **5.** Наугольных, К. А. Электрические разряды в воде / К. А. Наугольных, Н. А. Рой. – М.: Наука, 1971. – 155 с. **6.** Юшко, К. Б. Изменение показателя преломления жидкостей при сжатии ударной волны. Аномальные оптические свойства четыреххлористого углерода / К. Б. Юшко, Г. В. Кришкевич, С. Б. Кормер // Письма в ЖЭТФ. – 1968. – Т. 7, № 1. – С. 12. **7.** Клименко, В. Ю. Структура фронта ударной волны в жидкости / В. Ю. Клименко, А. Н. Дремин // Доклады академии наук СССР. – 1979. – Т. 249, № 4. – С. 840–843. **8.** Бацанов, С. С. Химические реакции под действием ударного сжатия / С. С. Бацанов // Сборник «Детонация. Критические явления. Физико-химические превращения в ударных волнах». – Черноголовка, 1978. **9.** Ахметов, М. Н. О скорости фронта ударной волны при высоковольтном электрическом разряде в воде / М. Н. Ахметов, Н. Д. Ахметов, М. М. Гимадаев, В. А. Кривошеев // Прикладная физика. – 2015. – № 6. – С. 54–56. **10.** Малюшевский, П. П. Основы разрядно-импульсной технологии / П. П. Малюшевский. – К.: Наукова думка, 1983. – 268 с. **11.** Торпак, А. С. Влияние состава рабочей среды на амплитуду волны давления высоковольтного электрического разряда / А. С. Торпак, О. Н. Сизоненко, Е. М. Шерегий, С. В. Прохоренко, Э. И. Тафтай // Вестник НТУ «ХПИ». Серия «Техника и электрофизика высоких напряжений». – Х.: 2015. – № 20 (1129). – С. 138–148. **12.** Vaughan, S. Scientific Inference: Learning from Data (1st ed.) / S. Vaughan. – Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2013. – P. 146–152. ISBN 1-107-02482-X. **13.** Chang, E. J. Shock wave interactions with particles and liquid fuel droplets / E. J. Chang, K. Kailasanath // Shock Waves. – 2003. – № 12. – P. 333–341. **14.** Суров, В. С. Взаимодействие ударной волны с пузырьковым экраном / В. С. Суров // Журнал технической физики. – 1999. – Т. 69, вып. 1. – С. 42–48.

Bibliography (transliterated): 1. Sizonenko, O. N. et al. "Variation in the Particle Size of Fe-Ti-B₄C Powders Induced by High-voltage Electrical Discharge. Powder Metallurgy and Metal Ceramics. Vol. 51, Iss. 3. 2012. pp. 129–136. **2.** Gulyj G. A. Nauchnye osnovy razrjadno-impul'snyh tehnologij. Kiev: Naukova dumka, 1990. Print. **3.** Sizonenko, O. et al. Plasma technologies for obtainment of composite materials dispersion hardened by nanostructured particles. International virtual journal for science, technics and innovations for the industry. Year IX, Issue 1/2015. 2015. pp. 32–35. **4.** Sizonenko, O. N. et al. Dispersion and Carburization of Titanium Powders by Electric Discharge. Powder Metallurgy and Metal Ceramics. Vol. 52, Iss. 5-6. 2013. pp. 247–253. **5.** Naugolnyh, K. A. Elektricheskie razryady v vode. Moscow: Nauka, 1971. **6.** Yushko, K. B., G. V. Krishkevich and S. B. Kormer. Izmenenie pokazatelya prelomleniya zhidkostey pri szhatii udarnoy volnoj. Anomalnye opticheskie svoystva chetyrehhloristogo ugleroda. Pisma v ZhETF. Vol. 7, No. 1. 1968. 12. p. **7.** Klimentko, V. Yu. and A. N. Dremyn. Struktura fronta udarnoy volny v zhidkosti. Doklady akademii nauk SSSR. Vol. 249, No. 4. 1979. pp. 840–843. **8.** Batsanov, S. S. Himicheskie reaktsii pod deystviem udarnogo szhatiya. Sbornik Detonatsiya. Kriticheskie yavleniya. Fiziko-himicheskie prevrascheniya v udarnyih volnah. Chernogolovka, 1978. **9.** Ahmetov, M. N. et. al. O skorosti fronta udarnoy volny pri vysokovoltnom elektricheskom razryade v vode. Prikladnaya fizika. No. 6. 2015. pp. 54–56. **10.** Malyushevskij, P. P. Osnovy razrjadno-impul'snoj tehnologii. Naukova dumka, 1983. **11.** Torpakov, A. S. et. al. Vlijanie sostava rabochej sredy na amplitudu volny davlenija vysokovol'tnogo elektricheskogo razryada. Vestnik NTU «KhPI». No 20 (1129). 2015. pp. 138–148. **12.** Vaughan, S. Scientific Inference: Learning from Data (1st ed.). Cambridge, UK: Cambridge University Press. 2013. pp. 146–152. ISBN 1-107-02482-X. **13.** Chang, E. J. and K. Kailasanath. Shock wave interactions with particles and liquid fuel droplets. Shock Waves. No. 12. 2003. pp. 333–341. **14.** Surov, V. S. «Vzaimodejstviye udarnoy volny s puzyr'kovym ekranom» Zhurnal tehnichej fiziki. Vol. 69, iss. 1. 1999. pp. 42–48.

Поступила (received) 26.02.2016

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Торпак Андрей Сергеевич – младший научный сотрудник; Институт импульсных процессов и технологий Национальной академии наук Украины, г. Николаев, тел.: (093) 846-93-58; e-mail: torpakov@gmail.com.

Torpakov Andriy Serhiyovych – Research Assistant; Institute of Pulse Processes and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, Mykolaiv, tel.: (093) 846-93-58; e-mail: torpakov@gmail.com.

Сизоненко Ольга Николаевна – ведущий научный сотрудник; доктор технических наук, профессор, Институт импульсных процессов и технологий Национальной академии наук Украины, г. Николаев, тел.: (066) 341-08-89; e-mail: sizonenko43@rambler.ru.

Syzenenko Olga Mykolayivna – Leading Researcher; Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Institute of Pulse Processes and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, Mykolaiv, tel.: (066) 341-08-89; e-mail: sizonenko43@rambler.ru.

Тафтай Эдуард Иванович – младший научный сотрудник; Институт импульсных процессов и технологий Национальной академии наук Украины, г. Николаев, тел.: (0512) 58-71-43; e-mail: dioo@iipt.com.ua.

Taftai Eduard Ivanovych – Research Assistant; Institute of Pulse Processes and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, Mykolaiv, tel.: (0512) 58-71-43; e-mail: dioo@iipt.com.ua.