

$$\sum_{i=1}^N d_i x_i^j \leq D; \quad \{x_1, \dots, x_N\} \geq X,$$

где:  $\Xi$  – вероятность отказа СЗИ;  $x_i$  – вероятность отказа  $i$ -го прибора;  $d_i$  – количество приборов  $i$ -го типа в системе;  $D$  – максимальное количество приборов в системе;  $X$  – минимальное количество типов приборов в системе, необходимое для решения поставленной задачи;  $x_i$  – типы приборов.

### Методика выбора конфигурации системы.

Предлагаемая методика основывается на определении максимума надежности при ряде принятых ограничений.

Порядок действий выглядит следующим образом.

1. Обследовать объект, подлежащий защите, на предмет возможных каналов утечки информации и угроз.
2. Определить минимальный перечень оборудования, позволяющий решить поставленную задачу.
3. Определить надежность и стоимость выбранных приборов, обеспечивающих заданный уровень ЗИ.
4. Рассмотреть ограничения, выдвинутые заказчиком.
5. Составить перечень необходимого оборудования с учетом требований п. 4.
6. Составить перечень оборудования, учитывая требования п. 5, с возможным дублированием приборов.
7. Произвести расчет вероятностей отказа выбранных приборов с учетом результатов, полученных в п. 6
8. Построить ациклический граф возможной конфигурации системы.
9. Решить задачу определения кратчайших путей с учетом ограничений.

Для решения задачи можно использовать метод, с помощью которого задача решается кратчайшим путем, минимизировав целевую функцию. Она приобретает такой вид:

$$\min \left\{ \sum_{i=1}^N \left| \log \left( 1 - x_i^{x_j} \right) \right| \right\}.$$

**Выводы.** Предложенные подходы к определению эффективности средств ЗИ следует использовать при создании системы ЗИ конкретного объекта. Причем эти критерии могут быть различными. Очевидно, что практически всегда в этих критериях будет присутствовать стоимость оборудования, обеспечивающего ЗИ, вероятность несанкционированного снятия информации, вероятность отказа систем ЗИ. В любом случае разработчикам системы придется столкнуться с многокритериальной задачей, решение которой достаточно сложно.

В некоторых случаях при постановке задач могут возникнуть ограничения, например, на количество приборов, их вес, стоимость и т.д. Заданный

уровень безопасности следует обеспечивать набором приборов, которые перекрывают весь спектр возможных угроз как по каналам утечки информации, так и по ее искажению. Под искажением понимается нарушение целостности, т.е. как непосредственно искажение, так и полное или частичное уничтожение.

Следует отметить тот факт, что в своей совокупности комплекс приборов приобретает новые свойства, которые не свойственны каждому прибору в отдельности. Этот факт необходимо учитывать при выборе номенклатуры приборов, чтобы избежать дублирования и повышением стоимости системы.

**Список литературы:** 1. *Кравченко В.И.* Электромагнитное оружие / *Кравченко В.И.* – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – 185 с. 2. *Кравченко В.И.* Оружие на нетрадиционных принципах: Электромагнитное оружие / *Кравченко В.И.* – Харьков: НТУ «ХПИ», 2009. – 266 с. 3. ДСТУ 28-60-94. Надійність техніки. – К.: Держстандарт України, 1994. – 36 с. 4. Новый энциклопедический словарь. – М.: Большая Российская энциклопедия, РИПОЛ Классик, 2004. – 1456 с. 5. *Певнев В.Я.* Эффективность информационной безопасности замкнутых систем / *Певнев В.Я.* // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи.* – Вып. 5(39). – Харьков «ХАИ», 2009. – С. 82-85. 6. Серков А.А., Певнев В.Я. Информационная безопасность: концепция и средства обеспечения // *Вісник НТУ «ХПІ».* Збірник наукових праць. Тем.вип: Техніка і електрофізика високих напруг. – Харьков: НТУ «ХПІ». – 2008. – № 44. – С. 132-136. 7. *В.С. Харченко, Г.М. Тимонькін, В.О. Сичов, І.В. Лисенко* Теорія надійності та живучості елементів і систем літальних комплексів. – Харків 1997. – С. 13-14. 8. ДСТУ 28-61-94. Державний стандарт України.

Поступила в редакцію 09.10.2009

УДК 622.24 : 537. 528

**О.Н.СИЗОНЕНКО**, докт.техн.наук, Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев;  
**Г.А.БАГЛЮК**, докт.техн.наук, Институт проблем материаловедения им. И.М.Францевича НАН Украины, Киев;  
**А.И.РАЙЧЕНКО**, докт.техн.наук, Институт проблем материаловедения им. И.М.Францевича НАН Украины, Киев;  
**А.И.ИВЛИЕВ**, канд.техн.наук, Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев;  
**Е.В.ЛИПЯН**, Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев

### ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА НА ИЗМЕНЕНИЕ КОМПОЗИЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ 60Fe50TiC И СВОЙСТВ СПЕЧЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Наведено результати експериментальних комплексних досліджень впливу обробки суспензії порошку 60Fe50TiC високовольтним електричним розрядом на властивості спечених матеріалів.

## **Введение**

Исследования свойств и применения высокодисперсных порошков, которые проводятся во многих развитых странах и в Украине, обусловлены, прежде всего, тем, что высокодисперсные порошки находят все более широкое применение при производстве композиционных алмазосодержащих материалов, сверхпроводников, солнечных батарей, фильтров, присадок к смазочным маслам, покрасочных пигментов, компонентов высокопрочных припоев и др. Основные достижения и, особенно, перспективы использования высокодисперсных порошков связаны с их особыми свойствами, которые определяются технологией получения.

Один из путей создания материалов с высокими физико-механическими и эксплуатационными характеристиками есть подход, который принято называть «сверху – вниз» (top – down), что предусматривает уменьшение размеров элементов структуры, то есть миниатюризацию размеров частиц порошков, и позволяет получать материалы высокой плотности с однородной гетерофазной структурой.

Известно [1, 2], что с помощью метода механической активации удается изменить структуру твердых тел, ускорить процессы диффузии, зародить активные центры на свежесформированной поверхности и т.д. Впервые к использованию этих эффектов подошли исследователи, которые изучали влияние высоких давлений с деформациями сдвига [3 - 5] и ударных волн на свойства твердых тел [6, 7]. Однако указанные эффекты можно получить и с использованием дробильного оборудования, что с практической точки зрения более целесообразно, особенно для непрерывных процессов. В результате совершенствования оборудования появились аппараты с высокой интенсивностью подведения энергии, и роль этих эффектов при измельчении сильно выросла. С помощью метода механической активации могут быть решены самые разнообразные задачи: повышение реакционной способности твердых тел, изменение структуры, ускорение твердофазных реакций и т.д.

Известно большое количество попыток в России и США использовать механохимический метод для интенсификации реакций в смесях неорганических и органических веществ [8, 9].

Анализ работ свидетельствует, что на эффективность диспергирования и активации можно влиять, изменяя условия, в которых они проводятся, в частности, варьируя температуру, давление, среду или вводя поверхностно-активные вещества (ПАВ) [10 - 15].

Согласно П.А. Ребиндеру [7] изменение свойств материала под воздействием ПАВ обусловлено снижением свободной поверхностной энергии и, как следствие, уменьшением работы, необходимой для увеличения поверхности.

Известно, что наиболее эффективными и безопасными методами воздей-

ствия на различные дисперсные системы являются физические методы, которые способствуют изменению их свойств. Одним из таких методов воздействия на физико-химические свойства гетерогенных систем является высоковольтный электрический разряд (ЭР). Высокая концентрация энергии в канале приводит к возникновению волн давления, близких к ударным, которые трансформируются в акустические с широким спектром частот, мощных гидротоков, кавитации, электромагнитных и термических полей.

Эти явления способствуют применению ЭР технологий во многих отраслях промышленности, поскольку позволяют влиять как на изменение геометрических размеров объекта, так и на структуру материалов с целью придания им определенных механических и физических свойств [16 - 19].

Волны давления, генерируемые в жидкости высоковольтным электрическим разрядом, в момент воздействия на поверхность материала вызывают распространяющиеся вглубь сдавливающие напряжения. После этого материал может разрушаться под влиянием волны растяжения значительно меньшей амплитуды. Растягивающие напряжения вызывают микротрещины. На образованной поверхности адсорбируются молекулы жидкости, которые не позволяют смыкаться краям трещины, выполняя расклинивающее действие. Поэтому при ЭР разрушении необходима незначительная энергия, которая будет способствовать усталостному разрушению материала.

**Цель** настоящей работы – исследование влияния высоковольтного электрического разряда на изменение композиции поверхности дисперсных порошков 60Fe50TiC с целью улучшения структуры и основных свойств консолидированных материалов.

## **Объекты и методы исследования**

Исследования выполнены на специально разработанном стенде, структурная схема которого представлена на рис. 1.

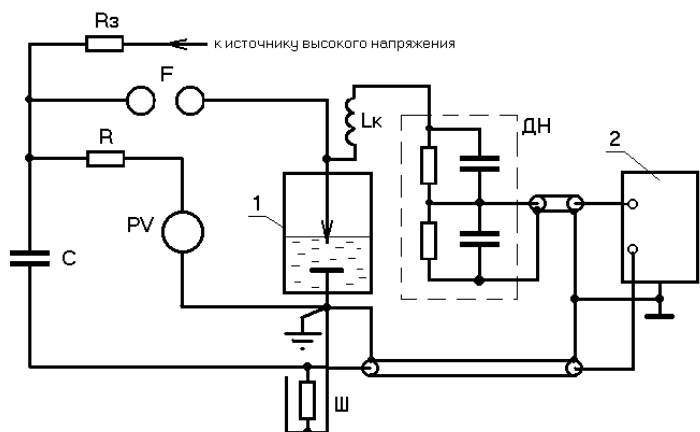


Рисунок 1 – Структурная схема экспериментального стенда: *C* – конденсатор накопителя; *R<sub>з</sub>* – балластный резистор; *R* – резистор; *PV* – киловольтметр; *F* – воздушный разрядник; *Ш* – коаксиальный шунт; *L<sub>к</sub>* – катушка компенсации; *ДН* – делитель напряжения; 1 – разрядная камера; 2 – осциллограф

Технологическая часть – разрядная камера, которая представляет собой толстостенный цилиндр с верхней и нижней крышкой. В нижней крышке выполнено коническое углубление для наполнения обрабатываемым материалом. В верхнюю крышку, с дренажным отверстием для сброса газа, вмонтирована электродная система, сменное острие которой образует разрядный промежуток с днищем.

Обработке подвергалась суспензия композиционных порошков 60Fe50TiC в воде и в органической жидкости. В качестве органической жидкости был выбран керосин. Объем суспензии был 1 литр, соотношение твердой и жидкой фазы составляла 1:3, количество удельной энергии на единицу его объема варьировалось от 200 до 400 кДж/л. После обработки жидкость выпаривалась, а порошок высушивался. Для оценки воздействия на композицию поверхности (дисперсности и фактора формы  $F = 4\pi S/P^2$ , где *S* – площадь проекции частицы, *P* – периметр проекции частицы) выполнялся компьютерный гранулометрический анализ порошков до и после воздействия.

### Результаты экспериментальных исследований

Микрофотографии исходного и обработанного порошков 60Fe50TiC представлены на рис. 2 – 4. Как видно на рис. 2, частицы исходного порошка имеют относительно малоразвитую поверхность, средние значения размеров частиц исходного порошка составляют 145 мкм, фактор формы по Салткову  $F \approx 0,58$ .

ЭР в суспензии композиционных порошков 60Fe50TiC в воде и в керосине приводит к изменению композиции их поверхности. После обработки в воде преобладают округлые

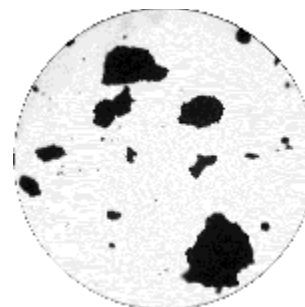


Рисунок 2 – Исходный порошок 60Fe50TiC ( $\times 75$ )

50 мкм (при  $\Sigma W_{уд.} = 200$  кДж/л), при этом поверхность частиц довольно развита и фактор формы  $F \approx 0,52$  (рис. 4).

Таким образом, очевидно, что при электроразрядном воздействии происходит изменение композиции поверхности (фактора формы и дисперсности) порошков 60Fe50TiC. Кривые распределения частиц по размерам (см рис. 5) показывают изменение содержания фракций в композиции порошка. После ЭР обработки возрастает содержание мелких фракций, причем для суспензии порошка в керосине его размеры сильнее смещаются в область мелких фракций.

Ключевой стадией в получении материала из смеси дисперсных порошков является процесс консолидации. Из исследуемого порошка 60Fe50TiC традиционным способом – статическим прессованием при  $P = 650$  МПа и вакуумным прессованием и вакуумным спеканием при  $T = 1050$  °С были изготовлены образцы – из исходного порошка 60Fe50TiC, а также из порошков, обработанных в воде и в органической жидкости. Микроструктура этих образцов представлена на рис. 6-8.

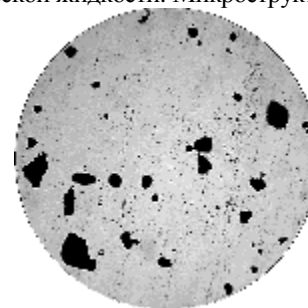


Рисунок 3 – Порошок 60Fe50TiC, обработанный ЭР в воде ( $\times 75$ )

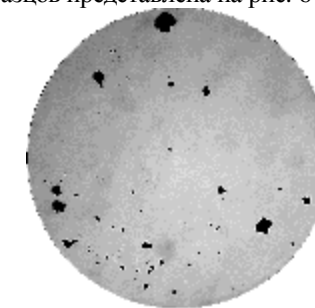


Рисунок 4 – Порошок 60Fe50TiC, обработанный ЭР в керосине ( $\times 75$ )

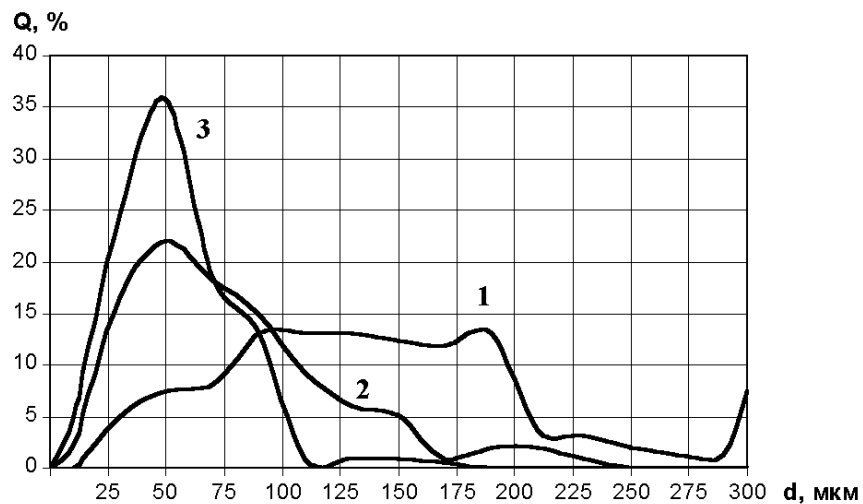


Рисунок 5 – Кривая распределения частиц порошка 60Fe50TiC по размерам:  
 1 – исходный порошок; 2 – порошок, обработанный ЭР в воде;  
 3 – порошок, обработанный ЭР в керосине

Исследования твердости материала проводились по методике Виккерса и Роквелла.

Твердость по Виккерсу при нагрузке на индентор 10 кг (HV10) у спеченных образцов из исходного порошка составила 5,8 ГПа, а после ЭР обработки порошков в органической жидкости твердость образца возросла до 8,8 ГПа, твердость образцов после обработки в воде не отличалась от исходных.

Таким образом, ЭР обработка композиционных порошков 60Fe50TiC в органической жидкости и дальнейшая консолидация путем статического прессования и вакуумного спекания приводит к формированию материала путем спекания с высоким уровнем твердости по Роквеллу (63-64 HRC), а уровень твердости образцов после обработки в воде не отличался от исходной (50-52 HRC).

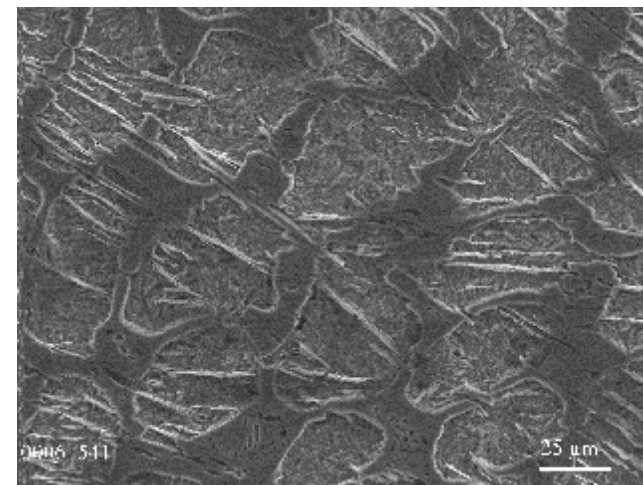


Рисунок 6 – Микроструктура материала 60Fe50TiC после прессования и спекания из исходного порошка

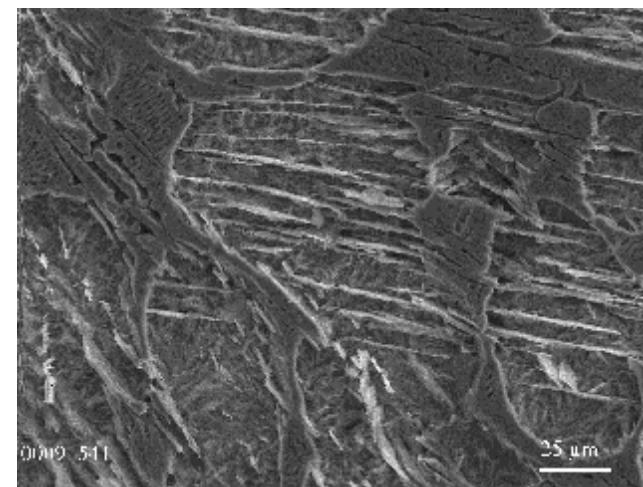


Рисунок 7 – Микроструктура материала 60Fe50TiC, полученная после прессования и спекания порошка после ЭР обработки в воде

Как известно, высокий уровень физико-механических свойств определяется дисперсностью зеренной структуры, что непосредственно вытекает из экспериментально установленной зависимости твердости и предела текучести от размера зерна (соотношение Холла-Петча) [20]. Наши исследования показали, что уменьшение ~ в 2 раза средних значений размеров частиц порошка при ЭР в воде хоть и приводит к изменениям в структуре консолидированного мате-

риала (см. рис. 3), на твердость особого влияния не оказывает.

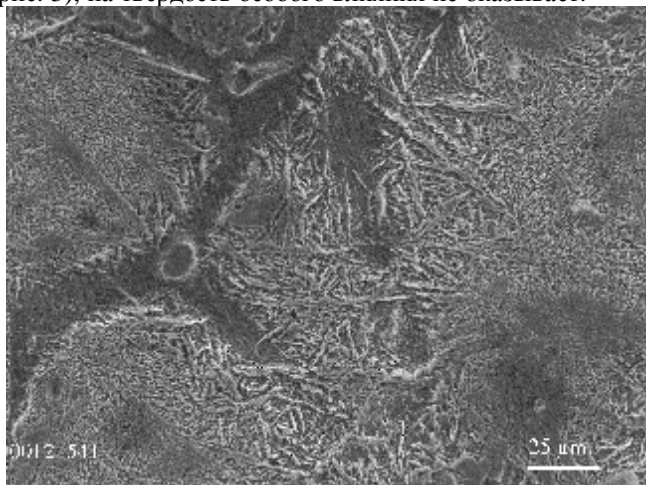


Рисунок 8 – Микроструктура материала 60Fe50TiC, полученная после прессования и спекания порошка после ЭР обработки в керосине

Использование углеводородной жидкости в качестве рабочей среды при электроразрядном воздействии на композиционные порошки 60Fe50TiC способствует более существенному изменению композиции поверхности и их активации, в результате чего получается игольчатая структура с повышенным ( $\sim 1,5$  раза) уровнем твердости.

Активация порошков при высоковольтном электрическом разряде в углеводородной жидкости, по нашему мнению, может происходить как в результате изменения композиции поверхности – измельчения крупнодисперсных частиц в 3 раза и более, значительного развития поверхности частиц порошка и изменения их формы, так и очищения поверхности частиц от примесей и адсорбционных пленок, изменения состава функционального покрова поверхности, изменения химического состава, стехиометрического состава и микроструктуры поверхности порошка. Обосновано это тем, что при высоковольтном ЭР в углеводородной жидкости происходит интенсивное газообразование, которое вызвано ее разложением с образованием атомарных возбужденных и ионизированных частиц. Рекомбинационные процессы типа  $H + H \rightarrow H_2$ ;  $C + O \rightarrow CO$  и т.д. могут иметь место в парогазовой полости и определяют образование газообразных продуктов. При этом атомарный углерод может как проникать в структуру порошка, так и распределяться на его поверхности, что в значительной мере влияет на физико-механические свойства материала.

В результате изменения композиции поверхности и активации порошков при их консолидации создаются условия для повышения скорости диффузион-

ных процессов и формирования игольчатой структуры материала, отличающегося высокими физико-механическими свойствами.

### Выводы

Результаты исследований показали, что использование углеводородной жидкости в качестве рабочей среды при электроразрядном воздействии на порошки 60Fe50TiC способствует изменению композиции поверхности и их активации, в результате чего при их консолидации в результате статического прессования и вакуумного спекания создаются условия для повышения скорости диффузионных процессов и формирования игольчатой структуры материала, отличающегося высокими физико-механическими свойствами.

**Список литературы:** 1. Шукин Е.Д., Перцов А.В., Амелина Е.А. Коллоидная химия. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982. – 352 с. 2. Лихтман В.И., Шукин Е.Д. Физико-химические явления при деформации металлов // Успехи физ. наук. – 1958, – Т. 63, вып. 2, – С. 213-245. 3. Соловьева А.Б., Жорин В.Л., Ениколопан Н.С. Химические превращения малиновой и фумаровой кислот под воздействием высоких давлений, сочетаемых с деформацией сдвига // Докл. АН СССР. – 1978. – Т. 240, № 1. – С. 125-127. 4. Жорин В.А. и др. Совместная полимеризация стирола и метилметакрилата при высоких давлениях и сочетании с деформацией сдвига // Докл. АН СССР. – 1974. – Т. 219, № 3. – С. 647-652. 5. Жорин В.А. и др. Образование комплексов железа с графитом при высоких давлениях и сдвиговых деформациях // Докл. АН СССР. – 1981. – Т. 256, № 3. – С. 598-600. 6. Дремин А.Н., Бреусов О.Н. Процессы, протекающие в твердых телах под действием сильных ударных волн // Успехи химии. – 1988. – Т. 37, вып. 5. – С. 898-916. 7. Ребиндер П.А., Калиговская П.А. Понижение прочности поверхностного слоя твердых тел при адсорбции поверхностно-активных веществ // Журн. техн. физики. – 1932. – Т. 2. – С. 726-755. 8. Авакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов: 2-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск: Наука, 1986. – 305 с. 9. Шавишкова С.Ю. Интенсификация химических процессов воздействием микроволнового излучения: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 07.00.10 "История науки и техники", 02.00.13 "Нефтехимия". – Уфа, 2003. – 20 с. 10. Болдырев В.В. Использование механохимии в создании "сухих" технологических процессов // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – № 12. – С. 48-52. 11. Ковтун В.И. и др. Структурные и фазовые изменения в порошках оксидов меди, кобальта и титана, обработанных ударными волнами // Порошковая металлургия. – 2008. – № 9/10. – С. 149-157. 12. Linde R.K., DeCarli P.S. Polymorphic Behavior of Titania under Dynamic Loading // J. Chem. Phys. – 1969. – 50. № 1. – P. 319-325. 13. Silva Gomes J.F., Al-Hassani S.T.S. A note on times to fracture in solid Perspex spheres due to point explosive loading // Int. J. Mech. Sci. – 1976. – 18. – P. 193. 14. Silva Gomes J.F., Al-Hassani S.T.S. Internal fractures in spheres due to stress wave focusing // Int. J. Sol. Str. – 1977. – 13. – P. 1007. 15. Linde R.K., DeCarli P.S. Polymorphic behavior of titania under dynamic loading // J. Chem. Phys. – 1969. – 50, № 1 – P. 319-325. 16. Климов Л.Ф. и др. Использование энергии электрического разряда для дробления, бурения скальных пород и производства строительных материалов. – Ленинград: Изд-во Ленинградского высшего ордена Ленина Краснознаменного командного училища железнодорожных войск и военных сообщений им. М.В. Фрунзе, 1975. – 248 с. 17. Гаврилов Г.Н. и др. Разрядноимпульсная технология обработки минеральных сред. – Киев: Наукова думка, 1979. – 163 с. 18. Курец В.И., Усов А.Ф., Цукерман В.А. Электроимпульсная дезинтеграция материалов – Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2002. – 324 с. 19. Pat. 3340052, US, Method of electrically sintering discrete bodies / Inoue K., 5.09.1967. 20. Андриевский П.А., Глезер А.М. Размерные эффекты в нанокристаллических материалах. II. Механические и физические свойства // Физика металлов и металловедение. – 2000. – Т. 89, № 1. – С. 91-112.

Поступила в редакцию 02.10.2009