

## ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ВКЛЮЧЕНИЙ НА ПОРОГ ВЗРЫВЧАТОГО РАЗЛОЖЕНИЯ СМЕСЕВЫХ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ ТЭНА И ВКЛЮЧЕНИЙ Ni И Al ПРИ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

*И. Ю. Лисков, Б. П. Адуев, Д. Р. Нурмухаметов, А. П. Никитин, Р. И. Ковалев*

## INFLUENCE OF THE SIZE OF INCLUSIONS ON THE THRESHOLD OF EXPLOSIVE DECOMPOSITION OF MIXTURE COMPOSITIONS ON THE BASIS OF PETN (PENTAERYTHRITYL TETRANITRATE) AND INCLUSIONS OF Ni AND Al UNDER LASER INFLUENCE

*I. Yu. Liskov, B. P. Aduev, D. R. Nurmukhametov, A. P. Nikitin, R. I. Kovalev*

*Работа выполнена на оборудовании ЦКП КемНЦ СО РАН. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (13-03-98032\_r\_sibir\_a)*

В работе получены зависимости вероятности взрыва тэна с включениями никеля и алюминия двух типов-размеров в образцах от плотности энергии инициирующего лазерного импульса (1064 нм, 14 нс). Показана возможность регулирования чувствительности тэна с помощью добавок наночастиц никеля к лазерному воздействию.

The paper reveals the dependence of the probability of explosion of PETN with inclusions of nickel and aluminum in two sizes in samples on the density of energy of the initiating laser impulse (1064 nm, 14 ns). The possibility of regulating the PETN sensitivity to laser action with additives of nickel nanoparticles is shown.

**Ключевые слова:** взрыв, тэн, наночастицы, лазер, импульс.

**Keywords:** explosion, PETN, nanoparticles, laser, impulse.

Повышение безопасности при проведении взрывных работ путем уменьшения несанкционированного срабатывания детонаторов, привод к необходимости разработки светодетонаторов и поиску новых материалов, имеющих низкий порог инициирования при воздействии лазерных импульсов. Одним из способов увеличения чувствительности взрывчатых веществ (ВВ) к лазерному воздействию является добавление к основному веществу различных материалов, поглощающих лазерное излучение. Ранее в наших работах была показана высокая эффективность добавок наноразмерных частиц [2–7] в пентаэритриттетранитрат (тэн) при воздействии импульсов лазера на стекле с неодимом.

Для подготовки образцов использовался синтезированный нами порошок тэна с размером зерен в максимуме распределения 1–2 мкм.

В порошок тэна добавлялся соответствующий вид наночастицы до получения нужной концентрации. Смесь помещалась в гексан и перемешивалась в ультразвуковой ванне для получения равномерного распределения наночастиц в объеме смеси. После этого проводили испарение гексана, сушку смеси и навеску образца, величина которой составляла  $12 \pm 0.3$  мг.

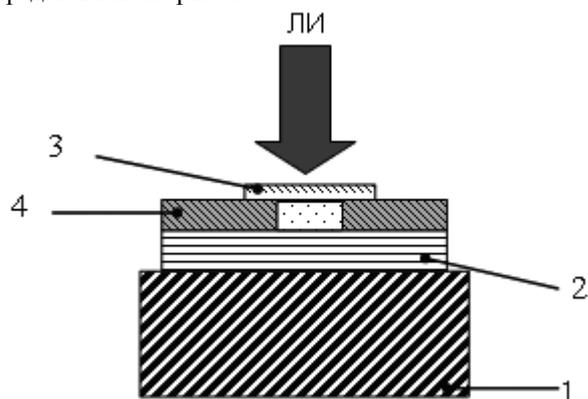
Эксперименты проведены с использованием в качестве добавок порошка алюминия, изготовленного методом газофазного синтеза в Институте физики металлов УрО РАН. Количественное содержание окиси алюминия составило 23 % по массе [1]. Наночастицы никеля синтезированы в Кемеровском Государственном Университете. Количественное содержание окиси никеля составило 12 %.

Держателем образца являлась медная пластина толщиной 1 мм, в центре которой имелось отверстие диаметром 3 мм. Образцы прессовали с помощью гидравлического пресса и специальной пресс-формы в центре медной пластины. При прессовании давление поднималось в течение 30 минут до 1.8 ГПа. В результате полу-

чали образец диаметром 3 мм и толщиной 1 мм с плотностью, близкой к плотности монокристалла ( $1.73 \pm 0.03$  г/см<sup>3</sup>). Контроль плотности осуществлялся следующим образом. Проводилось измерение геометрических размеров образца с помощью оптического микроскопа и микрометра и измерение массы образца на аналитических весах с точностью до 0.1 мг. Дальше вычислялась плотность образца. Образцы, не удовлетворявшие требованиям необходимой плотности, исключались из эксперимента.

Использовали YAG: Nd<sup>3+</sup> – лазер, работающий в режиме модуляции добротности на основной частоте ( $\lambda = 1064$  нм) и второй гармонике ( $\lambda = 532$  нм) с длительностью импульса на полувысоте 14 нс, максимальной энергией импульса на основной частоте 1.5 Дж и распределением интенсивности по сечению пучка, близким к прямоугольному.

Исследовалась зависимость вероятности взрыва от плотности энергии импульса лазера. Схема эксперимента представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Экспериментальная ячейка. 1 – массивная стальная подложка, 2 – дюралевая пластина-свидетель, 3 – стеклянная пластина толщиной 1 мм, 4 – медная пластина с образцом

Излучение фокусировалось на образец, запрессованный в медную пластину (4), с помощью двухлинзового телескопа в виде пятна диаметром 2.5 мм. Для контроля энергии лазера использовался калориметр ИМО – 2Н. Изменение энергии импульсов варьировали с помощью набора нейтральных светофильтров.

Образцы прижимали к алюминиевой подложке (2), которая являлась пластиной-свидетелем. Облучаемая поверхность была экранирована оптическим стеклом толщиной 1 мм (3), затрудняющим газодинамическую разгрузку зоны повышенного давления. За факт взрыва образца принимали громкий звуковой сигнал и наличие на пластине-свидетеле следа диаметром, равным диаметру образца.

В качестве критической энергии было решено использовать значение, соответствующее  $H_{50\%}$ .

На рис. 2 и рис. 3 приведены полученные вероятности взрыва тетранитропентаэритрита, содержащего 0.1 % по массе включения ультрадисперсных частиц никеля с размерами частиц в максимумах распределения (270 – 300) нм и (140 – 175) нм (первый и второй синтез соответственно) и частиц алюминия в максимумах распределения (100 – 120) нм и (120 – 170) нм (первый и второй синтез соответственно) в зависимости от плотности энергии иницирующего лазерного импульса.

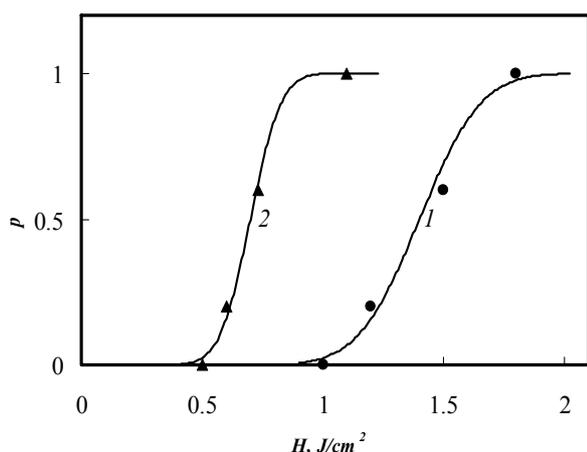


Рис. 2. Зависимости вероятности взрыва образцов от плотности энергии лазерного импульса.

Индексы 1 и 2 при содержании в образцах тэна 0.1 масс. % порошка никеля первого и второго синтеза соответственно

#### Литература

1. Yermakov A.Ye., Uimin M. A., Galakhov V. R., Mysik A. A., Koryakova O. V., Kharchuk V. G., Vykhodetz V. A., Gaviko V.S., Kuepper K., Robin S., Neumann M. Structure and Surface States of Cu-O Based Nanocrystalline Powders // Journal of Metastable and Nanocrystalline Materials. 2005. V. 24 – 25. P. 43 – 48.
2. Адуев Б. П., Нурмухаметов Д. Р., Пузынин А. В. Влияние добавок наночастиц никеля монокарбида никеля на чувствительность тетранитропентаэритрита к лазерному воздействию // Химическая физика. 2008. Т. 28. № 11. С. 45 – 48.
3. Адуев Б. П., Нурмухаметов Д. Р. Влияние добавок наночастиц алюминия на чувствительность тетранитропентаэритрита к лазерному воздействию // Химическая физика. 2011. Т. 30. № 3. С. 63.
4. Адуев Б. П., Нурмухаметов Д. Р., Фурега Р. И., Звекон А. А., Каленский А. В. Взрывчатое разложение тэна с нанодобавками алюминия и оксида алюминия при воздействии импульсного лазерного излучения различной длины волны // Химическая физика. 2013. Т. 32. № 8. С. 39 – 44.

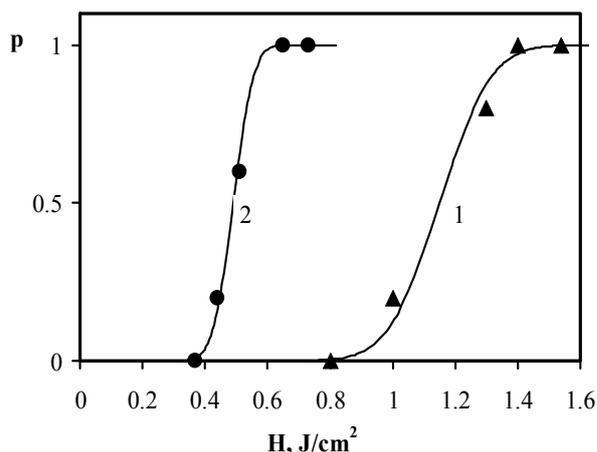


Рис. 3. Зависимости вероятности взрыва образцов от плотности энергии лазерного импульса. Индексы 1 и 2 при содержании в образцах тэна 0.1 масс. % порошка алюминия первого и второго синтеза соответственно

Критическая энергия, соответствующая 50 % вероятности взрыва, для образцов, содержащих никель первого синтеза составила величину

$$H_{cr}^{(1)} = 1.4 \text{ Дж/см}^2,$$

для образцов второго синтеза –  $H_{cr}^{(2)} = 0.7 \text{ Дж/см}^2$ .

Для образцов, содержащих наночастицы алюминия: первого синтеза составила величину

$$H_{cr}^{(1)} = 1.15 \text{ Дж/см}^2,$$

для образцов второго синтеза –  $H_{cr}^{(2)} = 0.5 \text{ Дж/см}^2$ .

Таким образом, в одинаковых условиях эксперимента обнаружена зависимость  $H_{cr}$  от размера включений в тэне.

#### Выводы:

1. Установлена критическая энергия, соответствующая 50 % вероятности взрыва, для образцов, содержащих

- никель первого синтеза  $H_{cr}^{(1)} = 1.4 \text{ Дж/см}^2$ ,
- никель второго синтеза  $H_{cr}^{(2)} = 0.7 \text{ Дж/см}^2$ ,
- алюминий первого синтеза  $H_{cr}^{(1)} = 1.15 \text{ Дж/см}^2$ ,
- алюминий второго синтеза  $H_{cr}^{(2)} = 0.5 \text{ Дж/см}^2$ .

2. Экспериментально установлена зависимость порога иницирования от размера включений в тэне, что необходимо учитывать при выборе материала включений.

5. Адуев Б. П., Белокуров Г. М., Нурмухаметов Д. Р., Пузырин А. В. Давление продуктов взрывного разложения смеси тетранитропентаэритрита и наночастиц монокарбида никеля при импульсном лазерном инициировании // Химическая физика. 2010. Т. 29. № 1. С. 70 – 74.

6. Адуев Б. П., Белокуров Г. М., Кречетов А. Г., Нелюбина Н. В., Нурмухаметов Д. Р. Исследование чувствительности механической смеси тетранитропентаэритрита и наночастиц NI-C к инициированию взрыва импульсами лазера // Физика горения и взрыва. 2009. Т. 45. № 1. С. 68 – 72.

7. Адуев Б. П., Белокуров Г. М., Нурмухаметов Д. Р., Нелюбина Н. В. Светочувствительный материал на основе смеси тэна и наночастиц алюминия // Физика горения и взрыва. 2012. № 3. С. 127 – 132.

**Информация об авторах:**

**Лисков Игорь Юрьевич** – инженер Института углекими и химического материаловедения СО РАН.

**Igor Yu. Liskov** – engineer at the Institute of Coal-chemistry and Material Science of the Siberian branch of the RAS

**Адуев Борис Петрович** – доктор физико-математических наук, заместитель директора по научной работе Института углекими и химического материаловедения СО РАН, [lesinko-iuxm@yandex.ru](mailto:lesinko-iuxm@yandex.ru).

**Boris P. Aduев** – Doctor of Physics and Mathematics, Vice-Director for Science at the Institute of Coal-chemistry and Material Science of the Siberian branch of the RAS.

**Нурмухаметов Денис Рамильевич** – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Института углекими и химического материаловедения СО РАН.

**Denis R. Nurmukhametov** – Candidate of Physics and Mathematics, Research Associate at the Institute of Coal-chemistry and Material Science of the Siberian branch of the RAS

**Никитин Андрей Павлович** – аспирант Института углекими и химического материаловедения СО РАН.

**Andrey P. Nikitin** – post-graduate student at the Institute of Coal-chemistry and Material Science of the Siberian branch of the RAS.

**Ковалев Родион Игоревич** – магистрант Института углекими и химического материаловедения СО РАН.

**Rodion I. Kovalev** – Master’s Degree student at the Institute of Coal-chemistry and Material Science of the Siberian branch of the RAS.

*Статья поступила в редколлегию 31.07.2014 г*