

12

## **Инициирование слоевых энергонасыщенных композиций сильноточным электронным пучком наносекундной длительности**

© Г.Г. Савенков<sup>1</sup>, В.А. Морозов<sup>2</sup>, В.А. Брагин<sup>3</sup>, В.А. Лукин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет

<sup>3</sup> Научно-исследовательский институт „Поиск“,

п. Мурино, Ленинградская обл.

E-mail: sav-georgij@yandex.ru

*Поступило в Редакцию 11 ноября 2014 г.*

Приведены результаты экспериментов по инициированию воспламенения энергонасыщенных композиций, представляющих собой слои из составов на основе пикрата калия и свинцового сурика. Впервые получены положительные результаты по инициированию составов на основе пикрата калия.

Несмотря на то что проблеме инициирования энергонасыщенных материалов (ЭНМ) сильноточным электронным пучком наносекундной длительности посвящено достаточно много работ (см. краткий обзор в [1]), ясности в вопросе, какие пучки и с какими параметрами способны инициировать взрывчатые превращения в ЭНМ, нет.

В первую очередь необходимо определиться, вносит ли решающий вклад в инициирование сам сильноточный электронный пучок (СЭП) или же так называемый катодный факел (КФ), который генерируется вслед за пучком с катода и представляет собой металлическую низкотемпературную плазму [2], или же здесь сказывается совместное действие источников излучения с катода электронного ускорителя?

Цель данной работы, с одной стороны, получить ответ на поставленный вопрос, с другой стороны, получить результаты, позволяющие снизить параметры пучка или возбудить взрывчатые превращения в ЭНМ, заведомо не иницируемых при тех параметрах пучка, при которых уже традиционно проводятся эксперименты [1,3].

В работе [3] были представлены результаты экспериментов по инициированию зажигания энергонасыщенных составов на основе пикрата калия, свинцового сурика, нитрата калия и перхлората аммония. Из всех составов удалось воспламенить с помощью СЭП только состав на основе свинцового сурика. Воздействие СЭП + КФ приводило к неустойчивому горению с погасанием на небольших участках образца состава на основе пикрата калия, имеющего самую высокую температуру воспламенения  $T_{ign} = 340-360^\circ\text{C}$ .

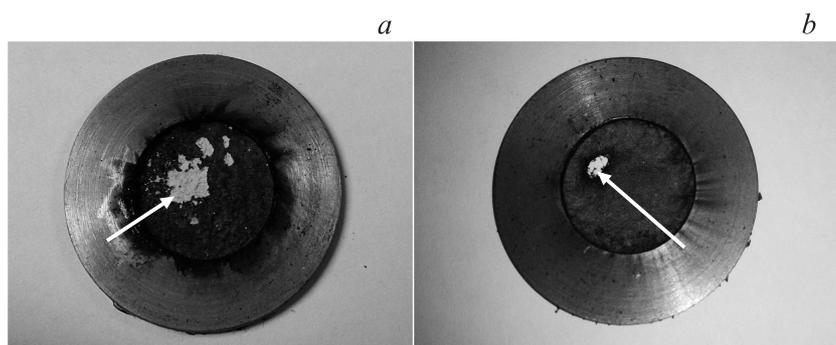
В данной работе, являющейся логическим продолжением работ [3,4], были проведены эксперименты по воздействию СЭП и СЭП + КФ на слоевые композиции из составов на основе пикрата калия и свинцового сурика. Схема и условия эксперимента и параметры пучка аналогичны работам [3,4]. В стальные кольца с внешним диаметром 30 mm и внутренним — 16 mm и высотой 2 mm запрессовывался на глубину 1 mm состав на основе пикрата калия с плотностью  $1.25\text{ g/cm}^3$ . Сверху на толщину 1 mm напрессовывался состав на основе свинцового сурика с плотностью  $\sim 2.5\text{ g/cm}^3$  (знак  $\sim$  означает, что эта плотность при нахождении состава сверху строго не контролировалась, то же самое относится к составу на основе пикрата калия, когда тот находился сверху). На тыльную поверхность образцов на весь диаметр кольца (30 mm) наклеивалась скотчевая лента (в зависимости от проведения эксперимента на тыльной поверхности находился либо тот, либо другой состав).

Были получены следующие результаты:

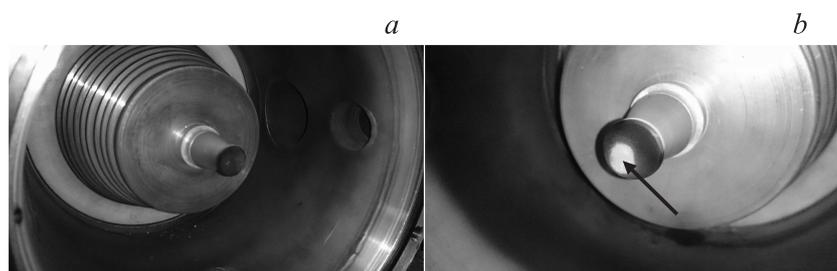
1. Воздействие на композицию с фронтальным слоем из состава на основе свинцового сурика и тыльным — на основе пикрата калия. Поскольку в работе [3] состав на основе свинцового сурика воспламенялся от СЭП без КФ, то вначале были проведены аналогичные эксперименты и для рассматриваемого случая. Это приводило к тому, что слой из свинцового сурика воспламенялся и полностью выгорал, в то время как слой из пикрата калия оставался цел (рис.1, *a*), катод покрывался продуктами горения состава (рис. 2, *a*).

Совместное воздействие СЭП + КФ приводило к тому, что воспламенялся и выгорал слой свинцового сурика и выгорал слой пикрата калия на глубину  $\sim 0.85\text{ mm}$  (рис. 1, *b*), состояние катода аналогично изображенному на рис. 2, *a*.

2. Воздействие на композицию с фронтальным слоем из состава на основе пикрата калия и тыльным — на основе свинцового сурика.

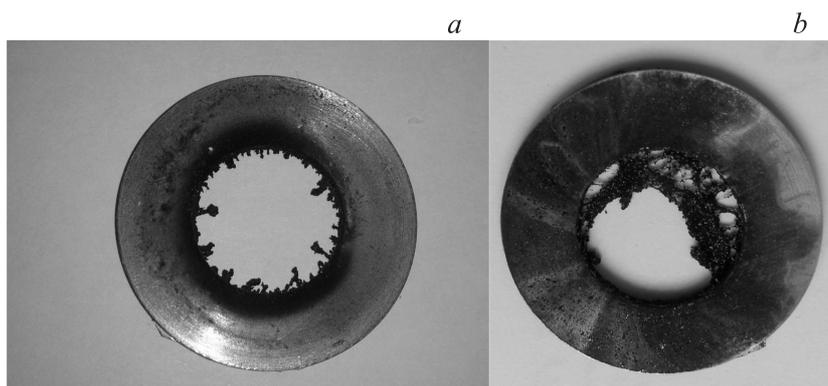


**Рис. 1.** Состояние образцов с фронтальным слоем из состава на основе свинцового сурика после воздействия СЭП (*a*) и СЭП + КФ (*b*), стрелками указаны: пятно пикрата калия (*a*), разрыв в пленке скотча (*b*).



**Рис. 2.** Состояние катода и вакуум-камеры после воздействия СЭП на образец с фронтальным слоем из состава на основе свинцового сурика (*a*) и воздействия СЭП + КФ на образец с фронтальным слоем из состава на основе пикрата калия (стрелкой указано термическое пятно) (*b*).

Поскольку состав на основе калия не воспламенялся от СЭП и частично воспламенялся с погасанием только при совместном воздействии СЭП + КФ [3], то воздействовать только одним электронным пучком на слой пикрата калия было нельзя, поскольку был бы заведомо отрицательный результат. Поэтому на этот слой воздействовали СЭП + КФ, что приводило к тому, что полностью сгорали оба слоя (рис. 3, *a*), включая пленку из скотча. Катод и вакуум-камера были покрыты слоем продуктов горения, на катоде наблюдалось термическое пятно



**Рис. 3.** Состояние образцов с фронтальным слоем из состава на основе пикрата калия после воздействия СЭП + КФ (*a*) и традиционного теплового источника на воздухе (*b*).

диаметром 5–7 mm, что свидетельствовало о воздействии на него высоких температур (рис. 2,*b*).

3. Воздействие на слоевые композиции теплового источника зажигания при нормальных условиях. Поскольку эксперименты по воздействию СЭП и КФ на слоевые композиции проводились в вакууме при остаточном давлении  $10^{-2}$  Pa, то было решено рассмотреть, как влияет, если влияет, отсутствие вакуума на зажигание этих композиций от обычного теплового источника (в нашем случае — раскаленная проволока). В обоих случаях нахождения того или другого состава сверху или снизу выгорали оба слоя, при этом на кольцах присутствовали остатки пленки из скотча (рис. 3,*b*). Таким образом, можно констатировать, что при нормальных условиях и традиционном источнике зажигания слои из энергонасыщенных составов воспламеняются друг от друга и выгорают полностью.

Что же влияет на воспламенение и горение слоевых композиций из исследуемых составов в случае воздействия на них СЭП или СЭП + КФ?

Очевидно, в случае, когда воспламенялся под действием только СЭП фронтальный слой из состава на основе свинцового сурика, скорость горения этого состава была достаточно высока, и, вероятно, образовывалась обратная струя пламени (на это указывает состояние

катода). Это приводило к тому, что состав на основе пикрата калия не успевал прогреться до температуры воспламенения к моменту выгорания состава на основе свинцового сурика и он не воспламенялся.

При совместном действии СЭП + КФ на фронтальный слой из состава на основе свинцового сурика, на нагретый продуктами горения фронтального состава слой пикрата калия добавочно воздействовала струя низкотемпературной (2000–2500 К) металлической плазмы (КФ), что приводило к его нагреву до температуры воспламенения. В этом случае тыльный состав на основе пикрата воспламенялся, но вследствие кратковременности действия добавочного источника воспламенения (КФ) и мощного теплоотвода горение прекращалось.

Действие СЭП + КФ на фронтальный состав на основе пикрата калия, вероятно, приводило к тому, что на отдельных участках данный состав воспламенялся и поджигал тыльный слой. В этом случае состав на основе свинцового сурика воспламенял всю оставшуюся поверхность прогретого первого слоя, и поскольку теплоотвод в окружающую среду (вакуум) был минимален, то фронтальный слой из пикрата калия полностью выгорал.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Иницирование зажигания энергонасыщенных слоевых композиций сильноточным электронным пучком наносекундной длительности возможно для всех типов материалов слоев как с высокой температурой воспламенения, так и с низкой;

2. Устойчивость горения слоевых композиций зависит от граничных условий эксперимента;

3. Воздействие катодного факела является необходимым условием для обеспечения зажигания и дальнейшего устойчивого горения слоев.

## Список литературы

- [1] Морозов В.А., Савенков Г.Г. // Химическая физика. 2013. Т. 32. № 6. С. 69–77.
- [2] Месяц Г.А. Эктоны в вакуумном разряде: пробой, искра, дуга. М.: Наука, 2000.
- [3] Савенков Г.Г., Морозов В.А., Лукин А.А., Брагин В.А. и др. // Письма в ЖТФ. 2014. Т. 40. В. 6. С. 50–58.
- [4] Савенков Г.Г., Морозов В.А., Семашкин Г.В., Соловьев В.А. и др. // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2013. № 21 (47). С. 80–83.