

УДК 662.215.1+535.21

ЛАЗЕРНОЕ ИНИЦИИРОВАНИЕ СМЕСЕЙ ТЭНА С АЛЮМИНИЕМ С ПОМОЩЬЮ НАПЛАВА

В. И. Таржанов, В. И. Сдобнов, А. Д. Зинченко, А. И. Погребов,
Б. Б. Токарев

РФЯЦ, ВНИИ технической физики им. Е. И. Забабахина, 456770 Снежинск, v.i.tarzhanov@vniitf.ru

Исследованы закономерности образования наплава из смесей тэна с тонкодисперсным алюминием при воздействии на них излучения неодимового лазера в режиме свободной генерации. Изучена эффективность наплава как средства снижения энергии лазерного инициирования смесей в зависимости от дисперсности тэна, содержания алюминия в иницилируемых смесях и в наплаве, плотности смесей и диаметра области лазерного воздействия на взрывчатое вещество. Определены составы смесей для приготовления оптимальных по составу наплавов, обеспечивающих снижение энергии инициирования смесей тэна с алюминием до 3.75 раз. Обсуждается механизм функционирования наплава при лазерном инициировании смесей тэна с алюминием.

Ключевые слова: ВВ, тэн, сильно поглощающие добавки, наплав, лазерное инициирование, детонация.

DOI 10.15372/FGV20170614

ВВЕДЕНИЕ

В работе [1] нами представлены данные по лазерному инициированию низкоплотных смесей тэна с металлическими добавками при варьировании дисперсности тэна и размера частиц добавок. Там же кратко рассмотрены результаты некоторых других авторов по изучению лазерного воздействия на смеси тэна со светопоглощающими добавками и проведены возможные сравнения результатов. Установлено, что добавление в низкоплотные заряды тэна тонкодисперсного алюминия привело к существенному снижению энергии его инициирования — в 6.2 раза. В 1980 г. В. И. Сдобновым было обнаружено явление образования наплава. Применение наплава при лазерном инициировании тэна сопровождается существенным снижением энергии инициирования. В [2] кратко сообщалось о получении наплава, его свойствах и эффективности при лазерном инициировании тэна, но первичные экспериментальные результаты при этом не приведены.

Цель данной работы — представить подробно ранее не публиковавшиеся данные РФЯЦ-ВНИИТФ 1980–1982 гг., касающиеся образования наплавов из смесей бризантных взрывчатых веществ (ВВ) с металлическими порошками, а также данные по применению

наплава при лазерном инициировании смесей тэна с алюминием.

ПОЛУЧЕНИЕ НАПЛАВА

Наплав — тонкий (<0.15 мм), серого цвета слой расплавившейся и застывшей на стеклянной подложке смеси (рис. 1). Он «изготавливался» воздействием импульса неодимового лазера в режиме свободной генерации ($\lambda = 1.06$ мкм, $\tau \approx 0.6$ мс) на низкоплотные ($0.65 \div 0.9$ г/см³) смеси тэна с алюминием (размер частиц ≈ 1 мкм) при содержании последнего $\chi = 0.1 \div 9$ %. Наплав образовывался в узком

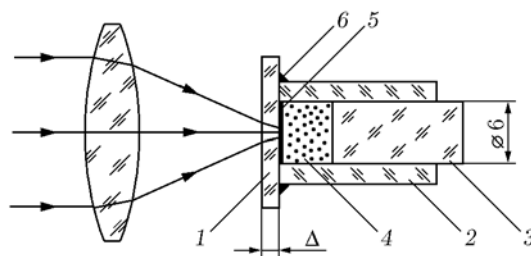


Рис. 1. Схема получения наплава при предварительном облучении навески смеси тэна с алюминием и последующего инициирования ее с наплавом:

1 — стеклянная подложка, 2 — корпус, 3 — пробка, 4 — смесь тэна с алюминием, 5 — наплав, 6 — клий

диапазоне энергии облучения смеси. Ниже этого диапазона либо появлялись отдельные капли, либо наплав не возникал совсем, а выше наплав переставал быть однородным и далее разбрасывался.

Экспериментально установлены следующие необходимые условия образования качественного наплава:

- максимальная температура ВВ при лазерном разогреве не должна быть выше температуры его вспышки;
- концентрация алюминия χ в смеси с тэном должна быть выше нижнего концентрационного предела $\chi_{low} = 0.5\%$. При малом значении χ поглощающий центр не может обеспечить нагрев большого объема ВВ, не превысив температуру вспышки;
- максимальный размер частиц добавки должен быть меньше 5 мкм;
- полидисперсность металла не должна быть большой. Наплав образуют мелкие частицы, а крупные являются балластом;
- важны равномерность распределения энергии по пятну облучения и длительность импульса (медленный нагрев на стекле слоя смеси толщиной 0.3 мм в течение 1 мин приводит к выходу алюминия на поверхность навески);
- температуры вспышки и плавления ВВ не должны быть близкими (с октогеном наплав получить не удалось).

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАПЛАВОВ

Коэффициенты пропускания наплавов определялись с использованием описанной в [3] методики фотометрического шара с гелий-неоновым лазером ($\lambda = 0.633$ мкм) в качестве источника света. В этих экспериментах наплав устанавливался на входе в шар. Толщину наплавов измеряли путем сравнения с калиброванными шупами под микроскопом. Наплавы были получены на тэне с дисперсностью частиц $S = 8200$ см²/г в смесях с алюминием при среднем размере его частиц 1 мкм и плотности смесей $\rho = 0.6 \div 0.85$ г/см³. Зависимости коэффициента пропускания T и толщины наплава Δ от содержания алюминия в наплаве показаны на рис. 2. Значение χ инструментально не измерялось, а полагалось равным содержанию алюминия γ в исходной смеси, и в данных оптических измерениях $\chi = \gamma$.

Отражательная способность наплавов не измерялась. Однако ее верхней границей можно

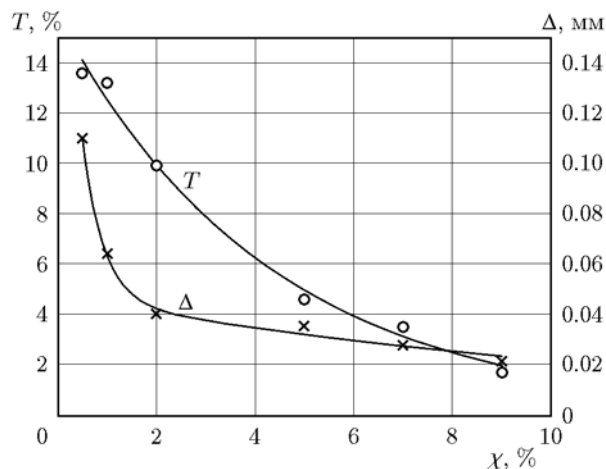


Рис. 2. Зависимости коэффициента пропускания и толщины наплава от содержания в нем алюминия

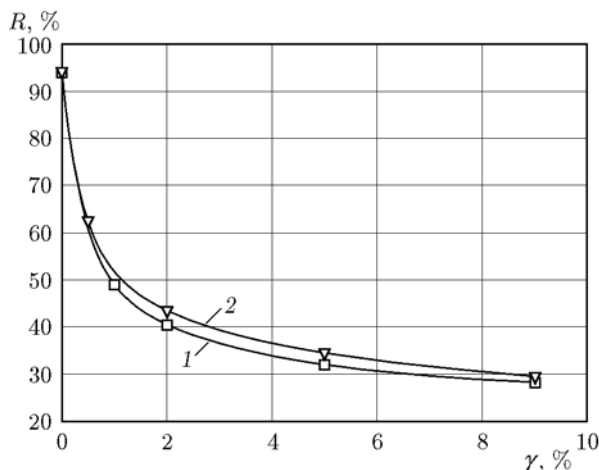


Рис. 3. Зависимость коэффициента отражения смесей тэна с алюминием от содержания в них алюминия:

дисперсность тэна: 1 — 8200, 2 — 3700 см²/г

считать показанную на рис. 3 измеренную зависимость коэффициента отражения R исходных смесей тэна с алюминием от его содержания в смеси γ .

По рис. 2, 3 можно оценить поглощение наплавов. Например, при толщине наплава $\Delta = 0.1$ мм в случае концентрации алюминия $\gamma = 2\%$ коэффициент пропускания равен $T = 10\%$, коэффициент отражения R не выше 40%, поглощение слоя не ниже 50%, т. е. весьма значительное. Отметим, что при воздействии короткого инициирующего лазерного импульса существенно более высокой мощности в ходе оптического взрыва частиц алюминия поглоще-

ние резко увеличивается [4–6].

ИНИЦИИРОВАНИЕ СМЕСЕЙ ТЭНА С АЛЮМИНИЕМ С ПОМОЩЬЮ НАПЛАВА

Влияние содержания алюминия в наплаве (χ) и в иницируемой смеси (γ) на пороговую энергию иницирования $E_{0.5}$ изучалось на виброуплотненных [1] смесях плотностью $0.6 \div 0.85 \text{ г/см}^3$ при постоянном диаметре области лазерного воздействия $d = 0.28 \text{ мм}$ и достаточно большом диаметре наплава $D \geq 2d$. Размер d обеспечивался линзовым проектированием круговой диафрагмы, устанавливаемой в выровненном по интенсивности лазерном пучке. Длительность лазерного иницирующего импульса с длиной волны $\lambda = 1.06 \text{ мкм}$ составляла 30 нс. Методика подготовки и проведения опытов аналогична описанной в [1]. Подчеркнем, что после виброуплотнения навесок смесей никакого усилия для их прижима к наплаву и подложке не прикладывалось.

Погрешности определения $E_{0.5}$ в работе составляли $5 \div 10 \%$ при уровне достоверности 0.95 и для отдельных точек показаны на рисунках. Такому же уровню достоверности соответствуют погрешности других величин на рисунках.

На рис. 4 нанесены экспериментальные данные по энергии иницирования. Линии, соединяющие точки, являются интерполяционными сплайнами. Поскольку наплав в чистом тэне ($\chi = 0$) не образуется, на оси ординат отложены значения $E_{0.5}$ для смесей без наплава. При $\chi = 100 \%$ отложены значения $E_{0.5}$ для смесей в присутствии напыленной на стеклянную подложку пленки алюминия примерно в одну оптическую толщину (0.41 мкм) — как некоторое приближение к наплаву из чистого порошкообразного алюминия.

Видно, что на зависимостях $E_{0.5}(\chi)$ имеются минимумы вблизи $\chi_{opt} = 1 \%$ при дисперсности тэна $S = 8200 \text{ см}^2/\text{г}$ и около $\chi_{opt} = 5 \%$ при $S = 3700 \text{ см}^2/\text{г}$. При $S = 8200 \text{ см}^2/\text{г}$ общий уровень $E_{0.5}$ снижается с ростом содержания алюминия в смеси от 0.5 до 9.0 %. Для оптимальных по составу смесей (9.0 % при $S = 8200 \text{ см}^2/\text{г}$ и 5.0 % при $S = 3700 \text{ см}^2/\text{г}$) абсолютно минимальные значения $E_{0.5}$ практически одинаковы (0.8 и 0.7 мДж). Такое же равенство значений $E_{0.5}$ наблюдалось в [1] для названных смесей при иницировании их без наплава.

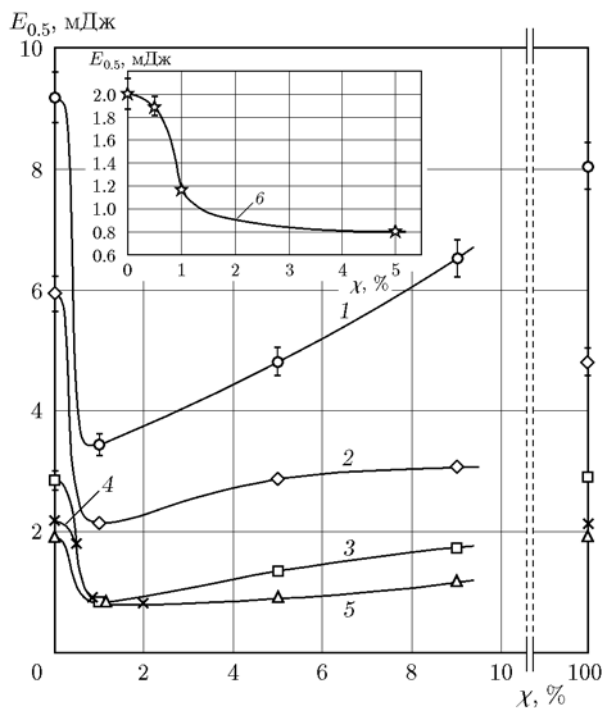


Рис. 4. Влияние содержания алюминия в наплаве на пороговую энергию иницирования различных смесей:

содержание алюминия в исходной смеси при $S = 8200 \text{ см}^2/\text{г}$: 1 — 0.5, 2 — 2.0, 3 — 5.0, 4 — 7.0, 5 — 9.0 %, при $S = 3700 \text{ см}^2/\text{г}$: 6 — 5.0 %

Параллельно с сериями опытов, результаты которых представлены на рис. 4, проводились эксперименты, в которых определялось значение $E_{0.5}$ для смесей без наплава при тех же значениях γ , с тем чтобы установить эффективность применения наплава в зависимости от содержания алюминия в нем. Эффективность определялась как отношение пороговой энергии иницирования смеси без наплава к таковой же энергии смеси под наплавом:

$$\xi = E_{0.5mix}/E_{0.5}$$

Полученные значения ξ для разных смесей и средние для всех точек кривые эффективности при двух дисперсностях тэна приведены на рис. 5. Видно, что кривые эффективности имеют максимумы ($\xi = 2.75, 2.6$) при оптимальных составах наплавов: 1 % алюминия для смесей с $S = 8200 \text{ см}^2/\text{г}$ и 5 % для смесей с $S = 3700 \text{ см}^2/\text{г}$. Для неоптимальных составов наплава эффективность практически не зависит от состава смеси под ним и энергия $E_{0.5}$ определяется составом наплава. В наплавах оптимального состава ($\gamma = 1 \%$ при $S = 8200 \text{ см}^2/\text{г}$)

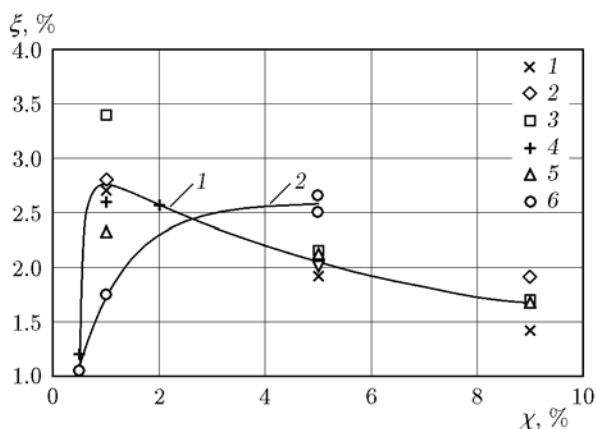


Рис. 5. Эффективность применения наплава в зависимости от содержания в нем алюминия: содержание алюминия в исходной смеси при $S = 8200 \text{ см}^2/\text{г}$: 1 — 0.5, 2 — 2.0, 3 — 5.0, 4 — 7.0, 5 — 9.0 %, при $S = 3700 \text{ см}^2/\text{г}$: 6 — 5.0 %; дисперсность тэна в смесях: 1 — 8200 , 2 — $3700 \text{ см}^2/\text{г}$

наблюдается максимальный разброс эффективности, что связано с различием чувствительности иницируемых смесей разных составов. Максимальное значение $\xi = 3.4$ получено для смеси с $\gamma = 5\%$.

Зарегистрированные в двух параллельных сериях опытов при $d = 0.28 \text{ мм}$ зависимости энергии $E_{0.5}$ смесей тэна с алюминием ($S =$

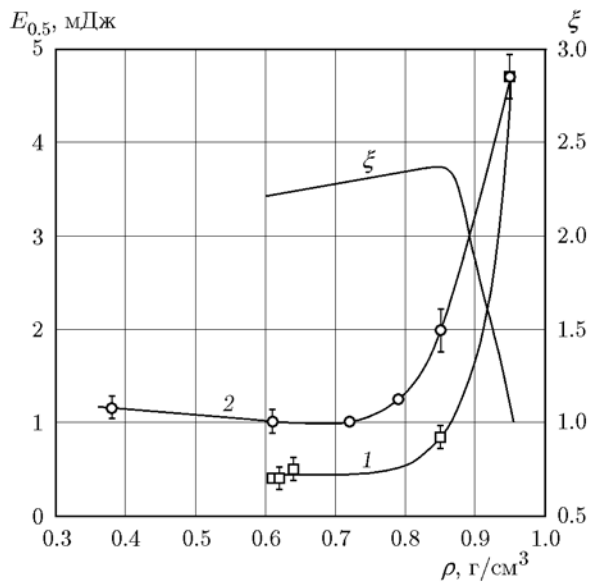


Рис. 6. Зависимость пороговой энергии лазерного иницирования смесей тэна с алюминием от их плотности под наплавом (1) и без него (2). Эффективность применения наплава

$8200 \text{ см}^2/\text{г}$, $\gamma = 9\%$) от их плотности ρ под наплавом и без него показаны на рис. 6. Там же приведена кривая эффективности ξ применения наплава. Состав наплава — тэн, $S = 8200 \text{ см}^2/\text{г}$ при $\chi = 1\%$. Видно, что в обеих сериях энергия $E_{0.5}$ снижается при уменьшении плотности смеси, проходя через минимумы при $\rho_{opt} = 0.6 \div 0.7 \text{ г/см}^3$. Минимальная энергия иницирования смеси под наплавом составила $E_{0.5} = 0.4 \div 0.5 \text{ мДж}$, что соответствует пороговым плотностям энергии иницирования $W_{0.5} = 0.65 \div 0.8 \text{ Дж/см}^2$. Отметим, что подобный вид зависимости энергии иницирования от плотности заряда характерен для большинства ВВ при любом способе быстрого иницирования [7, 8]. В диапазоне плотностей смесей $\rho = 0.6 \div 0.85 \text{ г/см}^3$ значения эффективности лежат в полосе $\xi = 2.2 \div 2.4$, при больших плотностях эффективность резко снижается до единицы.

Изучалась также зависимость эффективности применения наплава при иницировании смеси тэна с алюминием ($S = 8200 \text{ см}^2/\text{г}$, $\gamma = 9\%$, $\rho = 0.6 \text{ г/см}^3$) от диаметра области лазерного воздействия d . На рис. 7 приведены зависимости $E_{0.5}(d)$ для смесей под наплавом и без него, а также кривая эффективности $\xi(d)$. Видно, что с уменьшением диаметра d области лазерного воздействия пороговые энергии иницирования смесей без наплава и под наплавом снижаются, стремясь к одному минимальному значению 0.6 мДж при $d \rightarrow 0$, а эффективность

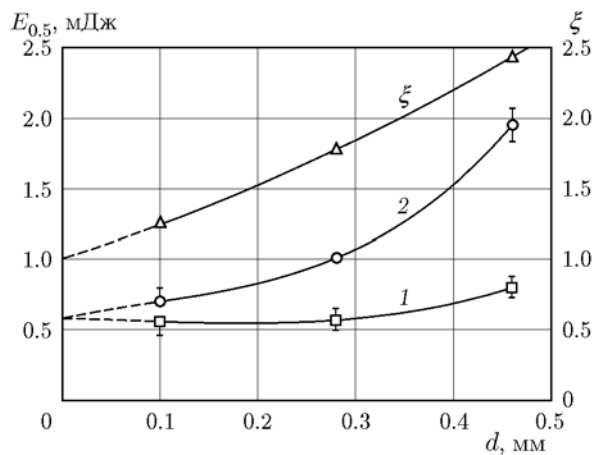


Рис. 7. Зависимость пороговой энергии лазерного иницирования смесей тэна с алюминием под наплавом (1) и без него (2) от диаметра области лазерного воздействия. Эффективность применения наплава

при этом падает вплоть до 1. Такой характер снижения $E_{0.5}$ при уменьшении d с одновременным ростом плотности энергии инициирования $W_{0.5}$ универсален для всех ВВ при лазерном инициировании [9–11]. Впервые экспериментальная зависимость $W_{0.5}(d)$ была описана в [9], обобщающий ее вид получен в [10]. В [11] эта зависимость названа размерным эффектом, в [12] она определена как пространственно-энергетический закон.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Предлагается следующий возможный механизм инициирования ВВ с наплавом.

В процессе быстрого инициирования ВВ [7, 8] можно выделить две стадии:

— преобразование энергии инициирующего импульса с образованием макроочага инициирования;

— развитие из очага ударной волны с химической реакцией до нормальной детонационной волны.

Наплав — светопоглощающий слой смеси тэна с алюминием — это макроочаг по отношению к заряду низкоплотного ВВ под ним. Вторая стадия реализуется уже в заряде.

В наплаве частицы алюминия являются преобразователями световой энергии в тепловую и механическую. На основе анализа механизма инициирования тэна оптическим взрывом пленок [5, 6] можно предположить, что в наплаве также реализуется оптический взрыв частиц алюминия, как и при прямом лазерном инициировании смесей тэна с алюминием [1]. При этом их горячая плазма возбуждает расходящиеся квазисферические микроволны сжатия и химическое энерговыделение в их окрестности, связанное, во-первых, с частичным разложением тэна при нагреве в контакте с плазмой и, во-вторых, с реакцией алюминия с продуктами разложения тэна. Реальность вклада химического энерговыделения следует из высокой экзотермичности реакции окисления алюминия (558.5 кДж/(моль O_2)) в сочетании с высокой температурой плазмы (до 5000 К [5, 6, 13, 14]) и высокой степенью ионизации атомов алюминия (для углерода и водорода, обеспечивающих энергетику ВВ, соответствующие теплоты окисления 110.5 и 241.8 кДж/(моль O_2) [15]). Достаточно малый размер частиц тонкодисперсного алюминия также важен, чтобы обеспечить заметное химическое энерговыделение с его участием за время энерговода. При

взаимодействии многих микроочагов за время энерговода формируется макроочаг с высокими давлением и температурой, связанными как со световым энерговодом, так и с химическим энерговыделением.

Физика развития детонации в низкоплотном ВВ под наплавом подобна таковой при ударно-волновом инициировании.

Были проведены опыты по инициированию смесей тэна с алюминием при использовании наплавов тротила и сахара с тем же алюминием. Получены значительные проигрыши (в 9 и 8 раз соответственно). Эти наплавы работали в режиме «пассивных» светомеханических преобразователей энергии (без собственного химического энерговыделения).

Для ответа на вопрос, можно ли другим способом получить светопоглощающий тонкий слой, подобный наплаву, проводились опыты со слоями тех же смесей тэна с алюминием, прессованными под высоким давлением ($\geq 1.2 \cdot 10^8$ Па) с доведением тэна до прозрачного состояния. Получена эффективность, близкая к эффективности применения наплавов. Следовательно, нагрев тэна при образовании наплава, его плавление и последующая рекристаллизация не так важны, как его предельное уплотнение с переводом, по-видимому, в аморфное состояние. В этом состоянии ВВ становится аномально чувствительным к разным инициирующим воздействиям, и связано это с увеличением числа дефектных центров [12, 16, 17].

Была поставлена серия опытов по распространению детонации по наплаву большого диаметра (3 мм) по сравнению с областью лазерного воздействия и по инициированию больших объемов прессованных слоев ($\varnothing 3 \times 1.5$ мм). Не зафиксировано ни распространения детонации в радиальном направлении по наплаву от границы области облучения, ни инициирования толстого прессованного слоя даже при двадцатикратном превышении энергии подрыва над пороговым значением. Всё это свидетельствует о больших критических диаметрах вещества наплавов и прессованных слоев и, следовательно, об их пониженной ударно-волновой чувствительности по отношению к таковой рассматриваемых низкоплотных смесей.

Таким образом, высокая эффективность инициирования смесей тэна с алюминием при использовании наплава — это результат опти-

мизации макроочага лазерного инициирования по толщине, диаметру, оптическим и энергетическим характеристикам.

Сделаем несколько дополнительных замечаний об экспериментальных результатах.

Эффективность применения наплава снижается при отклонении от оптимального содержания алюминия в смесях либо от оптимальной плотности при заданном составе или при уменьшении диаметра области лазерного воздействия, что обусловлено снижением относительного энергетического вклада наплава. Поскольку высокая эффективность наплава зависит от химического энерговыделения в нем, а оно, видимо, фиксировано во время энерговода, переход к менее чувствительным смесям, требующим больших плотностей энергии инициирования, приводит к снижению его относительного энергетического вклада. При уменьшении диаметра области лазерного воздействия растет требуемая плотность энергии прямого (без наплава) инициирования, несмотря на снижение энергии инициирования (см. [7]), при этом значимость химического энерговыделения падает.

Авторам неизвестны какие-либо публикации по наплаву, поэтому напрямую сравнивать не с чем. Ближайшими аналогами можно считать высокоплотные ($1.75, 1.73 \text{ г/см}^3$) заряды смесей тэна с алюминием в работах [18, 19], прессованные под давлением 1.8 ГПа. Получены пороговые плотности энергии взрывного разложения 1.4 и 1.15 Дж/см^2 при диаметре области лазерного воздействия $d = 2 \text{ мм}$. В данной работе плотность энергии инициирования смесей тэна с алюминием изменялась от 0.65 до 7.6 Дж/см^2 с увеличением плотности инициируемой смеси от 0.6 до 0.95 г/см^3 при $d = 0.28 \text{ мм}$. Поскольку в сравниваемых данных значения диаметра области лазерного инициирования и плотности инициируемых зарядов разные и, как указывалось ранее в [1], взрывное разложение в [18, 19] нельзя считать инициированием детонации, корректное сравнение провести невозможно. Однако факт попадания плотности энергии инициирования $W_{0.5}$ из работ [18, 19] в диапазон $W_{0.5}$ данной работы свидетельствует об одинаково сильном изменении при прессовании структуры тэна в высокоплотных зарядах, сопровождающимся значительным повышением его чувствительности к воздействию плазменных микроочагов при оптическом взрыве частиц алюминия. При

прессовании в ходе пластической деформации в тэне накапливаются дефекты, изменяющие физико-химические свойства, в том числе реакционную способность. Аналогичная деструктуризация тэна, как указывалось выше, реализуется при формировании наплава.

Представляется, что приведенные данные по инициированию смесей тэна с алюминием с помощью наплава могут быть полезны для построения обобщенного описания лазерного инициирования ВВ с металлическими добавками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Таржанов В. И., Сдобнов В. И., Зинченко А. Д., Погребов А. И. Лазерное инициирование низкоплотных смесей тэна с металлическими добавками // Физика горения и взрыва. — 2016. — Т. 53, № 2. — С. 118–125.
2. Таржанов В. И., Сдобнов В. И., Зинченко А. Д., Погребов А. И. Лазерное инициирование тэна с помощью наплава // Междунар. конф. «XI Забабахинские научные чтения, 16–20 апреля 2012»: сб. тез. — Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2012. — С. 109.
3. Зинченко А. Д., Погребов А. И., Таржанов В. И., Токарев Б. Б. Оптические характеристики некоторых порошкообразных ВВ // Физика горения и взрыва. — 1992. — Т. 28, № 5. — С. 80–87.
4. Зинченко А. Д., Сдобнов В. И., Таржанов В. И., Токарев Б. Б., Погребов А. И. Лазерное воздействие на пористое ВВ без его инициирования // Физика горения и взрыва. — 1991. — Т. 27, № 2. — С. 97–101.
5. Таржанов В. И., Зинченко А. Д., Смирнов Б. Н., Погребов А. И., Сдобнов В. И., Токарев Б. Б. Инициирование тэна с помощью взрывающей светом металлической пленки // Физика горения и взрыва. — 1996. — Т. 32, № 2. — С. 111–116.
6. Zinchenko A. D., Tarzhanov V. I., Tokarev B. B., Pogrebov A. I., Sdobnov V. I. Optical parameters of thin metal films under laser effect // Proc. 2nd Intern. Symp. on Intense Dynamic Loading and its Effects, Chengdu, China, June 9–12, 1992. — P. 583–587.
7. Быстрое инициирование ВВ. Особые режимы детонации: сб. науч. ст. / под ред. В. И. Таржанова. — Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, 1998.
8. Физика взрыва / под ред. Л. П. Орленко. — М.: Физматлит, 2004. — Т. 1.
9. Бриш А. А., Галеев И. А., Зайцев Б. Н., Сбитнев Е. А., Татаринцев Л. В. О механизме инициирования конденсированных ВВ излучением ОКГ // Физика горения и взрыва. — 1969. — Т. 5, № 4. — С. 474–480.

10. **Таржанов В. И., Зинченко А. Д., Сдобнов В. И., Токарев Б. Б., Погребов А. И., Волкова А. А.** Лазерное инициирование тэна // Физика горения и взрыва. — 1996. — Т. 32, № 4. — С. 113–119.
11. **Александров Е. И., Ципилев В. П.** Размерный эффект при инициировании прессованного азида свинца лазерным моноимпульсным излучением // Физика горения и взрыва. — 1981. — Т. 17, № 5. — С. 77–81.
12. **Зайцев Б. Н.** Лазерное взрывание материалов: в 2 т. — М.: Onebook.ru, 2014.
13. **Калмыков А. А., Розенталь Г. Н.** Ионизирующие свойства свечений на диэлектрических и металлических поверхностях, облучаемых светом рубинового лазера // Квант. электроника. — 1973. — № 2 (14).
14. **Андреев С. Н., Вержиковский Н. В., Дымшиц Ю. И.** Условия образования плазмы из твердотельной мишени под действием моноимпульсного излучения лазера // Журн. техн. физики. — 1970. — Т. XL, вып. 7.
15. **Химическая** энциклопедия. — М.: Сов. энцикл., т. 1, 1988; т. 2, 1989.
16. **Карабанов Ю. Ф., Карпухин И. А.** Общие закономерности инициирования систем окислитель — горючее при механических и лазерных воздействиях // Детонация. — Черноголовка, 1992. — С. 59–60.
17. **Лобанов В. Н., Ленский Р. Г., Плотников Ю. И., Рудько М. Л., Селезнев А. А., Шкаровский Ю. Н.** Критические условия инициирования вторичных ВВ при импульсных тепловых воздействиях // Горение конденсированных систем. — Черноголовка, 1989. — С. 25–27.
18. **Адуев Б. П., Нурмухаметов Д. Р.** Влияние добавок наночастиц алюминия на чувствительность тетранитропентаэритрита к лазерному воздействию // Хим. физика. — 2011. — Т. 30, № 3. — С. 63–65.
19. **Адуев Б. П., Нурмухаметов Д. Р., Фурегга Р. И., Лисков И. Ю.** Исследование поглощения света компаундами на основе тэна и наночастиц алюминия при воздействии лазерных импульсов // Хим. физика. — 2014. — Т. 33, № 12. — С. 29–32.

Поступила в редакцию 13/ХП 2016 г.
