

## ВЗРЫВНОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ СЛАБОПРЕССОВАННЫХ ПОРОШКОВ АЗИДА СВИНЦА В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИТЕЛЬНОСТЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИМПУЛЬСА

В. В. Медведев

Томский политехнический университет, 634050 Томск, medvedev@tpu.ru

Экспериментально исследовано инициирование слабопрессованных порошков азидов свинца плотностью не более  $1.2 \text{ г/см}^3$  к действию лазерного излучения с длиной волны  $1.06 \text{ мкм}$  в широком диапазоне длительностей импульса ( $10^{-5} \div 10^{-3} \text{ с}$ ). Показано, что порог зажигания слабопрессованных образцов не изменяется с увеличением длительности лазерного импульса. Обнаружено, что в продуктах взрыва содержатся расплавленные частицы свинца, размеры которых на порядок больше размеров аналогичных частиц при взрыве образцов плотностью  $4.0 \text{ г/см}^3$ .

Ключевые слова: азид свинца, лазерное излучение, порог зажигания.

По данным работы [1] существует область давлений прессования порошков азидов свинца ( $p < 3 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$ ), где чувствительность  $\text{PbN}_6$  к действию лазерных импульсов ( $t_p = 3 \cdot 10^{-8}$  и  $6 \cdot 10^{-7} \text{ с}$ ) низка и почти постоянна. Этот факт авторы [1] связывают с наличием поглощающих включений, которые нагреваются и образуют «горячие» очаги, а также с наличием пор, которые могут играть роль свободного объема, куда истекают горячие газы и разгружают эти очаги, подавляя их развитие. Справедливость данного предположения могли бы подтвердить эксперименты по зажиганию слабопрессованных порошков  $\text{PbN}_6$  ( $p < 3 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$ ) лазерными импульсами большей длительности и меньшей интенсивности, чем в [1], но такими, чтобы температура и давление образующихся горячих газов в порах не успевали уменьшиться. В этом случае энергетический порог зажигания не должен изменяться значительно. В предлагаемой работе выполнены подобные исследования.

Эксперименты проводились в воздухе. Использовались порошки  $\text{PbN}_6$  с размерами микрокристаллов  $\geq 10 \text{ мкм}$ . Навески массой  $\approx 15 \cdot 10^{-3} \text{ г}$  засыпались в капсулу из полиметилметакрилата с внутренним диаметром  $3 \text{ мм}$  на глубину  $3 \text{ мм}$  и запрессовывались поршнем под давлением  $p < 3 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$ . Получались образцы с относительной плотностью  $\Delta\rho \approx 0.3$  ( $\Delta\rho = \rho/\rho_m$ ,  $\rho_m$  — плотность монокристалла,

равная  $4.74 \text{ г/см}^3$  [2]) и пористостью  $\Pi \approx 70 \%$ . Облучалась по нормали вся открытая торцевая поверхность.

Использовалось излучение неодимового лазера ( $\lambda = 1.06 \text{ мкм}$ ), генерирующего квазипрямоугольный, квазинепрерывный (глубина модуляции не более  $30 \%$ ) импульс длительностью  $0.4 \div 4 \text{ мс}$  с энергией до  $60 \text{ Дж}$ , и лазера на алюмоиттриевом гранате, активированного ионами неодима ( $\lambda = 1.064 \text{ мкм}$ ), генерирующего импульс колоколообразной формы длительностью  $15 \div 600 \text{ мкс}$  с энергией до  $4 \text{ Дж}$ . Длительность импульсов регулировалась в блоке питания каждого лазера количеством LC-цепочек, собранных по лестничному типу [3]. Неравномерность засветки облучаемой торцевой поверхности образца не превышала  $20 \%$ . Энергия лазерных импульсов регулировалась напряжением накопительных конденсаторов в блоке питания и нейтральными светофильтрами в оптическом тракте (рис. 1, поз. 5). В отличие от экспериментов [1], где задержка зажигания была больше длительности лазерного импульса ( $t_p = 3 \cdot 10^{-8}$  и  $6 \cdot 10^{-7} \text{ с}$ ), в нашем случае ( $t_p = 15 \cdot 10^{-6} \div 4 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ ) зажигание всегда осуществлялось во время действия излучения (рис. 2). Поэтому за энергию зажигания принималась не вся энергия импульса, а только ее часть, затраченная на инициирование. Энергия измерялась калориметром ИКТ-1Н с погрешностью  $10 \%$ . Затем рассчитывалась плотность энергии, затраченная на инициирование. Длительность лазерного импульса принималась равной времени задержки

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 06-03-32724-а, 08-08-00153-а).

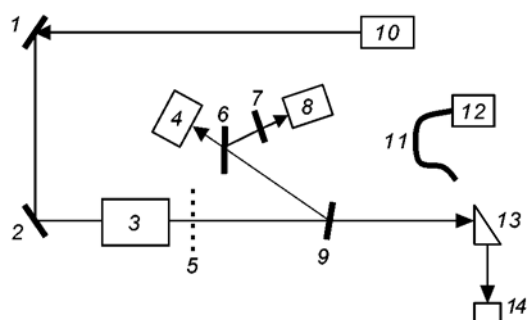


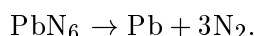
Рис. 1. Схема эксперимента:

1, 2 — поворотные зеркала, 3 — импульсный лазер, 4 — калориметр ИКТ-1Н, 5, 7 — нейтральный светофильтр, 6, 9 — светоделительная пластина, 8 — фотоприемник ФЭК-09К, 10 — юстировочный лазер ЛГН-109, 11 — световодный жгут, 12 — фотоприемник ФЭУ-118, 13 — поворотная призма, 14 — образец

зажигания (интервал времени от начала воздействия излучения до момента взрыва).

Результаты эксперимента приведены на рис. 3. Каждой точке соответствуют данные 10 опытов. Относительная погрешность измерения задержки зажигания при доверительной вероятности 0.95 не превышала 20 %. Из рисунка видно, что при увеличении длительности лазерного импульса в интервале времени  $10^{-7} \div 10^{-3}$  с энергетический порог зажигания с доверительной вероятностью 0.95 остается на одном уровне  $E \approx 0.85 \pm 0.10$  Дж/см<sup>2</sup>. Такое поведение энергетического порога свидетельствует в пользу того, что поры играют роль свободного объема, куда истекают горячие газы, а время изменения температуры и давления в порах больше длительности лазерных импульсов, применяемых в эксперименте.

Кроме того, при инициировании образцов на защитном стекле, которое находилось на расстоянии 20 см от торцевой поверхности азидов, были обнаружены застывшие капли расплавленного свинца (рис. 4), образовавшегося при взрыве:



При инициировании образцов с относительной плотностью  $\Delta\rho \approx 0.84$  стекло оставалось чистым. Чтобы выяснить, какие факторы влияют на образование металлических капель, были проведены дополнительные эксперименты. Защитное стекло устанавливалось на расстоянии 6 см от торцевой поверхности азидов. Образцы с относительной плотностью  $\Delta\rho \approx 0.84$  запрес-

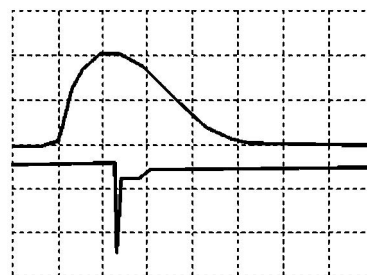
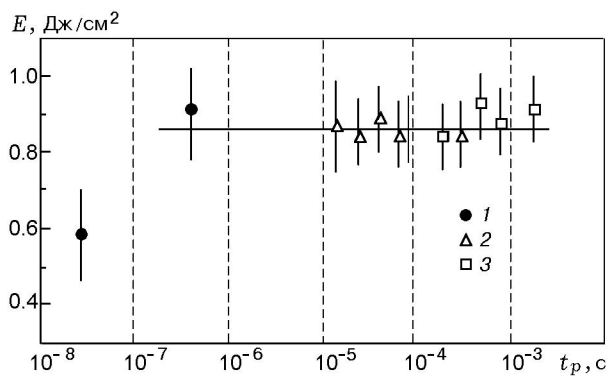


Рис. 2. Типичная осциллограмма инициирования азидов свинца:

развертка 25 мкс/дел., верхний луч — лазерный импульс, нижний — световой сигнал из приповерхностного пространства образца

Рис. 3. Порог зажигания  $E$  при различных длительностях лазерных импульсов:

1 — экспериментальные данные [1], 2 — воздействие излучения лазера на алюмоиттриевый гранат, 3 — воздействие излучения неодимового лазера

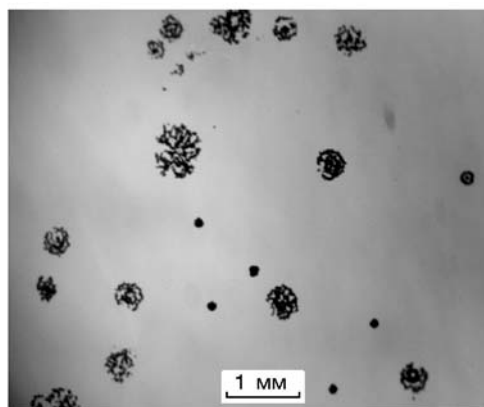


Рис. 4. Микрофотография осажженных на стекле металлических частиц после взрыва слабопрессованного порошка азидов свинца

совывались в металлические капсулы таких же размеров, как и капсулы из полиметилметакрилата. При инициировании слабопрессованных образцов наряду с крупной фракцией наблюдалась мелкая фракция с характерным размером  $\approx 0.015$  мм. При инициировании образцов плотностью  $\Delta\rho \approx 0.84$  присутствовала только мелкая фракция. Если образцы любой плотности помещались на поверхность без боковых стенок, то на стекле осаждались очень мелкие частицы, неразличимые в микроскоп. Можно предположить, что при взрыве поры слабопрессованных образцов являются центрами конденсации паров свинца. При разлете продуктов взрыва (образец в капсуле) образуются турбулентные потоки, которые могут способствовать укрупнению капель расплавленного металла. Боковые стенки капсулы увеличивают кумулятивные свойства струи, что также может приводить к увеличению размеров конденсированных капель. Эффект образования крупных капель металла при взрыве слабопрессованных образцов в капсуле еще до конца не понят. Для более глубокого понимания данного явления необходимо провести дополнительные исследования.

## ВЫВОДЫ

- Энергетические пороги зажигания слабопрессованных порошков азидов свинца не зависят от длительности лазерных импульсов в диапазоне  $10^{-7} \div 10^{-3}$  с.
- При взрывном разложении азидов в продуктах взрыва обнаружен эффект конденсации и укрупнения капель свинца.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Александров Е. И., Ципилев В. П.** Влияние давления прессования на чувствительность азидов свинца к действию лазерного излучения // Физика горения и взрыва. 1982. Т. 18, № 2. С. 100–103.
2. **Багал Л. И.** Химия и технология инициирующих взрывчатых веществ. М.: Машиностроение, 1975.
3. **Медведев В. В.** Лазер с регулируемой длительностью импульса на базе серийного о.к.г. ГОС-301 // Приборы и техника эксперимента. 2000. № 6. С. 89–91.

*Поступила в редакцию 23/XI 2007 г.,  
в окончательном варианте — 20/III 2008 г.*

---