

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ ПРЕССОВАНИЯ НА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ АЗИДА СВИНЦА К ДЕЙСТВИЮ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Е. И. Александров, В. П. Ципилев

(Томск)

Вопрос о влиянии давления прессования на устойчивость ВВ к лазерному воздействию представляет один из ключевых моментов в описании закономерностей лазерного инициирования, тем более, что он способен явиться своеобразным тестом для проверки различных точек зрения на возможность реализации того или иного механизма процесса.

Развивая модельные представления [1] об инициировании ВВ лазерным излучением как результате нагрева поглощающих микрогетерогенностей, на примере азид свинца оценим характер этого влияния. В частности, принимая во внимание малый начальный размер очага разложения, следует ожидать, что при наличии в прессованном ВВ пор последние могут сыграть роль свободного объема, в который будут истекать горячие газы, интенсивно разгружая эти очаги по давлению и температуре и подавляя их развитие. Средний объем отдельной поры (полагаем концентрацию пор порядка концентрации микрокристаллов) $V_{\pi} = kV_{\kappa}/(1-k)$, где k — пористость образца, V_{κ} — характерный объем отдельного микрокристалла. При $k = 0,5$, $V_{\pi} \approx V_{\kappa} \approx 10^{-12} - 10^{-11}$ см³, начальный же объем очага инициирования $V_0 \approx 10^{-15} - 10^{-14}$ см³.

С повышением давления прессования пористость образца снижается, уменьшается средний объем пор, что должно сопровождаться в общем случае повышением чувствительности азид свинца к действию лазерного излучения. В качестве подтверждения можно было бы привести результаты [2, 3], которые свидетельствуют о повышенной чувствительности прессованного азид свинца по сравнению с насыпным (приблизительно в 3 раза). Вместе с тем, по данным [4], необходимая для инициирования ВВ энергия лазерного излучения с ростом давления прессования в диапазоне $(1 \div 5) \cdot 10^6$ Н/м² линейно возрастает более чем в 4 раза. Разрешить это противоречие без дополнительных экспериментальных исследований не представляется возможным.

В предлагаемой работе в широком интервале ($10^6 \div 1,5 \cdot 10^9$ Н/м²) исследовано влияние давления прессования на порог инициирования азид свинца при различных режимах воздействия.

Эксперимент

Схема эксперимента приведена на рис. 1. Излучение однододового неодимового лазера 1 освещало в дальней зоне круглую диафрагму 5, изображение которой диаметром 0,38 см проецировалось с помощью линзы 6 с фокусным расстоянием 20 см на поверхность ВВ 10. Часть излучения оптическим клином 2 и призмой Дове 3 отщеплялась для формирования импульса запуска осциллографа 9 и контроля энергетических и временных параметров с помощью калориметра ИКТ-1М 7 и фотоэлемента ФЭК-19 КМ 4.

Синтез ВВ и подготовка образцов для исследований проводились аналогично [1]. При этом образцы, запрессованные полированными пуансонами под давлением менее 10^8 Н/м², обладали матовой поверхностью. С повышением давления запрессовки поверхность приобретала блеск, т. е. появлялась зеркальная составляющая коэффициента отражения. Соответствующая зависимость от давления прессования в относительных единицах показана на рис. 2, 3.

Распределение плотности энергии излучения в световом пятне на поверхности ВВ описывалось функцией $H = H_0 \exp(-r^2/r_0^2)$, где $r_0 = 0,27$ см.

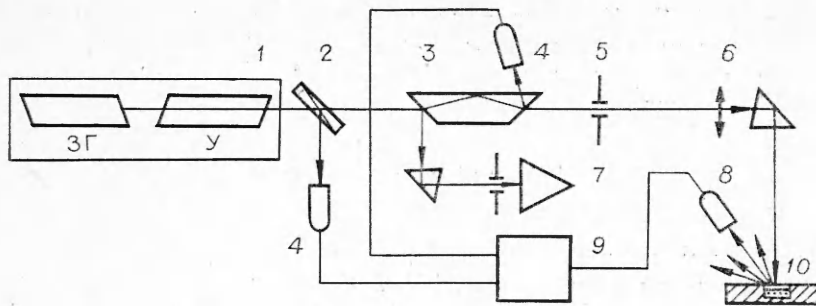


Рис. 1. Схема эксперимента.
3Г — задающий генератор; У — четырехкаскадный усилитель.

Рис. 2, 1 иллюстрирует зависимость критической плотности энергии от давления прессования в режиме свободной генерации лазера в резонаторе с плоскими зеркалами и селекцией мод с помощью диэлектрической диаграммы при длительности пуга импульсов $6 \cdot 10^{-4}$ с и длительностью отдельного пичка $(6 \div 7) \cdot 10^{-7}$ с, а рис. 2, 2, 3 — в режиме моноимпульса длительностью $\tau_2 = 6 \cdot 10^{-7}$ и $\tau_1 = 3 \cdot 10^{-8}$ с соответственно.

Экспериментальные точки соответствуют 50%-ной вероятности инициирования $\omega(H)$. Величины интервалов, приведенные на рис. 2, характеризуют ширину зоны вероятностного подрыва и равны $1/\omega'(H) = -\partial H/\partial \omega(H)$ в этих точках. Участки кривых «частоты» взрывов $\omega(H)$ вблизи точки $\omega(H) = 0,5$ строились по результатам 25—30 опытов.

Чувствительность азида свинца к действию пуга импульсов с пиковой структурой лишь слегка повышается с давлением прессования (см. рис. 2, 1) в исследованном интервале $p = 10^6 \div 1,5 \cdot 10^9$ Н/м². Совершенно иной характер носят эти же зависимости при действии моно- и одиночного импульса, моделирующего отдельный пичок пуга (см. рис. 2, 2, 3). Существуют две четко выделенные области, в пределах каждой из которых чувствительность почти постоянна (область низкой чувствительности, соответствующая малым давлениям прессования $p < 0,3 \cdot 10^7$ Н/м², и область высокой чувствительности, соответствующая высоким давлениям $p > 1,5 \cdot 10^8$ Н/м²), причем в очень узкой переходной зоне давлений прессования $(0,3 \div 1,5) \cdot 10^8$ Н/м² чувствительность изменяется почти на два порядка.

С помощью фотоумножителя 8 (см. рис. 1) оценены задержки вспышки для образцов с давлением запресовки 10^6 и $1,5 \cdot 10^9$ Н/м². Они составили: для моноимпульса $2 \cdot 10^{-6}$ и $(1-2) \cdot 10^{-7}$ с, для одиночного импульса $5 \cdot 10^{-6}$ и $(1,0-2,5) \cdot 10^{-6}$ с. При действии пуга импульсов на образцы с давлением запресовки $1,5 \cdot 10^9$ Н/м² особых закономерностей выявить не удалось. Вспышка могла иметь место в любой момент облучения, вплоть до начального. Тем не менее при облучении образцов со слабой запресовкой вспышка ни разу не отмечена под действием первых пичков и в среднем наступала значительно позже.

Попытки обнаружить прямую связь между устойчивостью ВВ и зеркальностью поверхности оказались безуспешными. Исследовалась устойчивость таблеток азида свинца, запресованных под

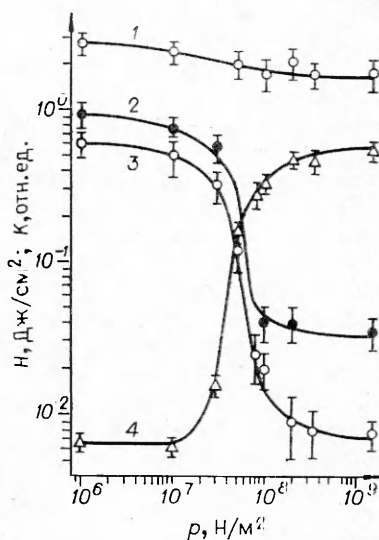


Рис. 2. Зависимости критических плотностей энергии H_0 от давления прессования p .

давлением $> 2 \cdot 10^8$ Н/м², но с матовой поверхностью (при прессовании между пуансоном и ВВ прокладывалась бумага). Оказалось, что критические световые потоки для них аналогичны получаемым для образцов с глянцевой поверхностью.

Обсуждение результатов

Рассмотрим процесс уплотнения сыпучего материала. Условно в нем можно выделить три стадии [5]. На первой уплотнение происходит за счет разрушения образованных сцеплением частиц арки и сводов, создающих пустоты и обуславливающих большую пористость насыпного порошка. Под влиянием внешней нагрузки частицы смещаются относительно друг друга, заполняя пустоты. Лишь отдельные частицы, попавшие в неблагоприятные условия, могут деформироваться на этой стадии.

Уплотнение за счет деформации частиц наступает после того, как в основном закончится их структурная укладка. По достижении предела упругости, а затем (с увеличением усилия) и предела прочности происходит разрушение частиц и образование новых контактных поверхностей. На этой стадии образуется прочное пористое тело.

Сжатие образовавшегося прочного тела — третья стадия, на которой теоретически возможно получение сплошного материала.

Укажем на соответствие интервала давлений прессования, в границах которого происходит скачок чувствительности ВВ к действию одиночных лазерных импульсов, с пределом прочности азида свинца $\sigma_{кр} = 1,5 \cdot 10^9$ Н/м² [6], т. е. этот скачок отвечает второй стадии прессования — деформационному уплотнению, что подтверждает и зависимость от давления прессования зеркальной компоненты отражения (см. рис. 2, 4). Поэтому, принимая, что в процессе взаимодействия лазерного импульса с азидом свинца в объеме последнего возникает множество очагов разогрева, но порог иницирования определяется теми, которые находятся в наиболее благоприятных для развития условиях, одним из простых и самых вероятных вариантов объяснения описанных фактов представляется следующий.

В начальный момент прессования существует широкий спектр размеров пор и пустот. В то же время из статистических соображений необходимо допустить существование локальных областей с достаточно плотной структурной укладкой частиц, близкой к предельной, в которых объем пор минимален. Именно в этих локальных объемах ВВ и осуществляются наиболее благоприятные для развития очага иницирования условия.

По мере нагружения в первую очередь заполняются наиболее крупные пустоты, обладающие наименьшей прочностью сводов. Спектр размеров пор и пустот сужается, возрастает доля объема образца с плотной структурной укладкой частиц, однако существенного влияния на порог иницирования процесс прессования на стадии структурной укладки оказать не может. Так формируется плато, соответствующее низкой чувствительности азидов.

Ситуация резко меняется, как только в некоторой области ВВ начинается пластическая деформация и разрушение частиц, т. е. будет достигнут предел прочности. Пороговый характер процессов разрушения приводит к пороговому уменьшению объема пор в этой области, условия развития в ней очагов возбуждения взрыва улучшаются, приводя к скачкообразному повышению чувствительности. Причем уже на этой стадии объем пор становится, как следует из формирования зеркальной компоненты коэффициента отражения (см. рис. 2, 4), по крайней мере, сравним с объемом начальных очагов разложения. Эта компонента появляется, когда размеры структурных неоднородностей на поверхности, а следовательно, и пор в объеме образца становятся малы по сравнению с

длиной зондирующей световой волны $\lambda = 632,8$ нм или (более точно) менее $\lambda/2\pi \sim 10^{-5}$ см.

Из-за малой величины объема $V_n \leq 10^{-15}$ см³ эти норы уже не могут заметно влиять на разгрузку очага инициирования равного (или даже большего) объема. Поэтому дальнейшее уплотнение уже не влияет на критические световые потоки. Так формируется плато, отвечающее высокой чувствительности азида свинца, и на этом участке можно полностью пренебречь газодинамическими явлениями при анализе процесса инициирования взрыва.

Характер влияния давления прессования и длительности импульса излучения на задержку вспышки соответствует предлагаемой модели. Сопоставляется с ней и относительное изменение чувствительности от длительности возбуждающего импульса — меньшее для образцов с малым давлением запрессовки и большее для образцов с давлением запрессовки, превышающим предел прочности. Интересно, что в последнем случае $H_0(\tau_2)/H_0(\tau_1) \approx [(\tau_2)/(\tau_1)]^{1/2} \approx 4,5$.

Для понимания причин слабого влияния пористости на устойчивость азида свинца к действию излучения лазера, работающего в режиме свободной генерации, сравним ход кривых 1 и 2 на рис. 2 в области слабых запрессовок. Энергия отдельного пичка в пуге свободной генерации много меньше энергии, необходимой для инициирования при воздействии одиночного импульса такой же длительности (см. рис. 2, 2). В то же время, как следует из сопоставления 1 и 2 рис. 2, каждый отдельный пичок пуга способен образовать очаг разложения. Поэтому внутренне непротиворечивое объяснение всей совокупности фактов можно видеть в том, что при давлениях прессования, меньших предела прочности, очага разложения, образующиеся под действием первых пичков, по причинам, изложенным выше, не имеют возможности развиваться в очаге инициирования, но все же продукты реакции постоянно повышают давление в порах после действия каждого последующего, достаточно мощного для образования горячего очага пичка. В конечном итоге давление повышается до величины, достаточной для запираания газов в очередном очаге разложения, способствуя его развитию.

Таким образом, результаты работы представляют возможность углубить понимание особенностей лазерного инициирования ВВ и создают основу для развития представлений о роли газодинамического фактора в этом процессе.

Поступила в редакцию 5/III 1981

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. И. Александров, А. Г. Вознюк. ФГВ, 1978, 14, 4, 86.
2. Y. Mizushima, I. Nishijama. J. of the Nat. Chem. Lab. for. Ind., 1975, 70, 7, 225.
3. Y. Mizushima, I. Nishijama. J. of the Ind. Explos. Soc., 1974, 35, 4, 169.
4. А. А. Бриш и др. ФГВ, 1969, 5, 4, 475.
5. Э. Э. Кольман-Иванов. Таблетирование в химической промышленности. М.: Химия, 1976.
6. Г. Т. Афанасьев, В. К. Боболев. Иницирование твердых ВВ ударом. М.: Наука, 1968.