

ЗАЖИГАНИЕ ПРЕССОВАННЫХ СМЕСЕВЫХ СОСТАВОВ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

А. М. Барановский
(Днепропетровск)

При воздействии лазерного излучения на химически активные конденсированные среды наиболее изученными в экспериментальном отношении оказались однородные ВВ. В [1—7] показано, что чувствительность ВВ определяется физико-механическими характеристиками ВВ и параметрами излучения. О лазерном инициировании смесевых составов, кроме СВС [8], сведений нет. Потребность в них, однако, существует и продиктована соображениями практического плана и необходимостью выяснения условий, определяющих процесс зажигания.

В предлагаемой работе приведены результаты лазерного зажигания модельных прессованных смесевых составов $0,45\text{Si} + 0,55\text{Pb}_3\text{O}_4$ (I) и $0,25\text{Al} + 0,75\text{KClO}_4$ (II) при различных длительностях импульса и давлениях прессования. Неодимовый лазер ГОС-30М работал в режимах свободной генерации и модуляции добротности резонатора с длительностями излучения $t_{\text{и}} \sim 10^{-3}$ и $2 \cdot 10^{-8}$ с соответственно. В экспериментах использовалась центральная часть лазерного пучка. Неоднородность интенсивности на облучаемой площадке не превышала 20%. Зажигание образцов достигалось воздействием прямого слабофокусированного излучения. Отраженная от тонкой стеклянной пластины часть излучения направлялась на калориметр ИМО-2. Перед образцом и калориметром, находившимися на одинаковом расстоянии от пластины, располагались диафрагмы диаметром 2 мм. Навески составов массой 0,2 г прессовались в таблетки диаметром 5 мм. Начальная дисперсность компонентов составляла 40—70 мкм. Давления прессования $p_{\text{пр}}$ составов I—1 и $2 \cdot 10^8$ Н/м², II — 10^8 Н/м².

В таблице приведены критические плотности энергии $W_{\text{кр}}$ составов, соответствующие вероятности зажигания $p = 0,5$, и величины вероятностных интервалов зажигания Δ . $W_{\text{кр}}$ определено по методу Брустона [9] в результате испытаний 4—5 серий по 10 образцов в каждой. Котангенс угла наклона зависимости $p(W)$ в точке $p = 0,5$ характеризовал вероятностный интервал Δ [6].

В процессе испытаний осматривались уцелевшие образцы. Независимо от длительности импульса вблизи порога зажигания ($W \sim 2 \div 3$ Дж/см²) поверхность таблетки приобретала пятнистый вид. Минимальный размер пятен, наблюдаемый в микроскоп, составлял $\sim 0,1$ мм. Увеличение W приводило к росту размеров пятен и их слиянию.

Анализ различных возможностей утилизации лучистой энергии в исследованных составах показал, что нагрев среды при кратковременном лазерном воздействии происходит существенно неравномерно из-за различия оптических и теплофизических характеристик компонентов. В оптическом отношении прессованная таблетка представляет собой относительно прозрачную среду (коэффициент поглощения окислителей $\sim 10^{-1}$ см), содержащую непрозрачные металлические (либо близкие к ним по оптическим свойствам) включения. Распространение излучения в приповерхностном слое таблетки в условиях многократных отражений и

Состав	$p_{\text{пр}} \cdot 10^{-8}$, Н/м ²	$t_{\text{и}}$, с	$W_{\text{кр}}$, Дж/см ²	Δ	Состав	$p_{\text{пр}} \cdot 10^{-8}$, Н/м ²	$t_{\text{и}}$, с	$W_{\text{кр}}$, Дж/см ²	Δ
I	1	10^{-3}	10,6	0,6	II	1	10^{-3}	6,6	0,36
	2	10^{-3}	2,6	0,3		1	$2 \cdot 10^{-8}$	5,0	0,30
	1	$2 \cdot 10^{-8}$	2,9	0,25					

рассеяния носит диффузный характер. По структуре среда пористая, причем в пределах исследованных $p_{\text{пр}}$ пористость заметно изменяется ($\sim 10\%$).

Рассмотрим плоскую частицу горючего характерного размера d , находящуюся в приповерхностном слое в условиях изотропной освещенности в течение времени $t_{\text{н}} \sim 10^{-3}$ с и имеющую тепловой контакт с окислителем. Начальная стадия нагрева частицы сопровождается обменом теплом с окружающим окислителем. Отношение глубин прогрета компонентов:

$$l_{\text{г}}/l_{\text{ок}} \sim \sqrt{\kappa_{\text{г}}/\kappa_{\text{ок}}} \sim \sqrt{10^3}.$$

Однако при достижении температуры $T_{\text{р}}$, соответствующей началу разложения окислителя (для KClO_4 и Pb_3O_4 $T_{\text{р}} \sim 600^\circ\text{C}$ [10]), тепловой контакт ухудшается, и дальнейший нагрев частиц горючего происходит в условиях, близких к адиабатическому.

Предельно достижимый разогрев частицы горючего при значении $W_{\text{кр}} \sim 3$ Дж/см²

$$T_{\text{г}} \sim 2W_{\text{кр}}/\rho cd \sim 1000^\circ\text{C},$$

где c , ρ — теплоемкость и плотность горючего. Фактически $T_{\text{г}}$, вероятно, выше, и одной из причин может быть, например, увеличение дисперсности горючего в процессе прессования, поскольку $p_{\text{пр}} > [\sigma_{\text{вр}}]$, где $[\sigma_{\text{вр}}]$ — предел прочности горючего.

Формирование очага из частицы горючего (или нескольких) происходит в условиях конкуренции теплоприхода $q_{\text{х}}$, обеспечиваемого химической реакцией, и потерь $q_{\text{п}}$. В первом приближении $q_{\text{п}}$ можно представить как суммарное действие теплопроводностных $q_{\text{тп}}$ и газодинамических потерь $q_{\text{гп}}$, роль которых проявляется в связи с пористостью среды. Увеличение $p_{\text{пр}}$ уменьшает средний гидравлический размер пор и повышает сопротивление движению образующихся газов, что равносильно подавлению газодинамических потерь. Если за характерное время развития газодинамических процессов τ принять время фильтрации газообразного окислителя с глубины d , то $\tau \sim d/v \sim 10^{-3} \div 10^{-4}$ с, где v — скорость движения потока газов [9], т. е. τ сравнимо со временем действия импульса. Данные таблицы не противоречат такому представлению.

Более сложно интерпретировать результаты по зажиганию прессованных смесевых составов моноимпульсом наиосекундной длительности. Выделение значительного количества тепла в тонком поверхностном слое частицы горючего (для Al $\sqrt{\kappa t_{\text{н}}} \sim 1$ мкм), как показывает оценка, приводит к испарению части материала. Взаимодействие паров горючего с окислителем происходит при высокой температуре и с высокой эффективностью. Картина может быть осложнена газодинамическими и высокотемпературными кинетическими явлениями. Для выяснения механизма зажигания в условиях ультракоротких длительностей требуется дальнейшее проведение экспериментальных исследований.

Поступила в редакцию 20/IV 1982,
после доработки — 2/XII 1982

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Волкова, А. Д. Зинченко и др. ФГВ, 1977, 13, 5, 760.
2. А. А. Бриш, И. А. Галеев и др. ФГВ, 1969, 5, 4, 475.
3. Y. Mizushima, I. Nishiyama. J. Nat. Chem. Lab. for Ind., 1975, 70, 7, 255.
4. Ю. Ф. Карабанов, В. К. Боболев. Докл. АН СССР 1981, 256, 5, 1152.
5. Е. И. Александров, А. Г. Вознюк. ФГВ, 1978, 14, 4, 86.
6. Е. И. Александров, В. П. Ципилев. ФГВ, 1982, 18, 2, 100.
7. Е. И. Александров, В. П. Ципилев. ФГВ, 1981, 17, 5, 77.
8. И. И. Короткевич, Г. В. Хильченко и др. ФГВ, 1981, 17, 5, 61.
9. Вспомогательные системы ракетно-космической техники. М.: Мир, 1970.
10. Справочник по химии/Под ред. Д. А. Эпштейна. М., 1964.