

5. Алдушин А. П., Хайкин Б. И.— В кн.: Теория и технология металлургических процессов.— Новосибирск: Наука, 1974.
6. Алдушин А. П., Хайкин Б. И., Шкадинский К. Г. ФГВ, 1976, 12, 6, 819.
7. Алдушин А. П., Ивлева Т. П., Мержанов А. Г. и др.— В кн.: Процессы горения в химической технологии и металлургии.— Черноголовка, 1975.
8. Зельдович Я. Б. Докл. АН СССР, 1976, 230, 3, 567.
9. Новиков С. С., Похил П. Ф., Рязанцев Ю. С. и др. Докл. АН СССР, 1968, 180, 6, 1391.
10. Струнина А. Г., Мартемьянова Т. М., Барзыкин В. В. и др. ФГВ, 1974, 10, 4, 518.
11. Шкадинский К. Г., Хайкин Б. И., Мержанов А. Г. ФГВ, 1971, 7, 1, 19.
12. Самарский А. А. Теория разностных схем.— М.: Наука, 1977.

Поступила в редакцию 22/XII 1986

ВЛИЯНИЕ СТАТИСТИКИ ПОГЛОЩАЮЩИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ НА ЛАЗЕРНОЕ ИНИЦИИРОВАНИЕ ВЗРЫВЧАТОГО РАЗЛОЖЕНИЯ

Е. И. Александров, А. Г. Вознюк

(Томск)

Одна из интересных особенностей модели лазерного возбуждения ВВ с локализацией очага инициирования на разогреваемых в поле излучения поглощающих неоднородностях [1] — неизбежное присутствие элемента случайности, проявляющееся в вероятностном характере нахождения в освещенном объеме ВВ «опасной» неоднородности и, как следствие, в неоднозначности результата взаимодействия лазерного излучения с ВВ в области критических световых потоков. Поэтому получаемые в экспериментах кривые частоты взрывов [1] должны отражать определенные детали указанного взаимодействия.

Эта исходная предпосылка в свое время позволила обнаружить влияние статистики лазерного излучения на вид кривых частоты и оценить характерный размер поглощающих неоднородностей [2]. Но если на результат опыта влияет статистика излучения, следует ожидать и влияния статистики неоднородностей.

Пусть в освещенном объеме ВВ V_0 с распределением освещенности по некоторому закону $\varepsilon(V)$ имеется включение радиуса R . При этом вероятность развития процесса взрывчатого разложения из центра, определяемого данным включением, есть $W_i = \frac{1}{V_0} \int_{\varepsilon_{0i}}^{\infty} V(\varepsilon) d\varepsilon$, где ε_{0i} — критическая освещенность, необходимая для возникновения тепловой неустойчивости в результате разогрева. При наличии n включений вероятность инициирования находится из выражения

$$W_n = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - W_i) = 1 - \exp \sum_{i=1}^n \ln(1 - W_i).$$

В наиболее общем случае при наличии широкого спектра включений с распределением по размерам $C(R)$

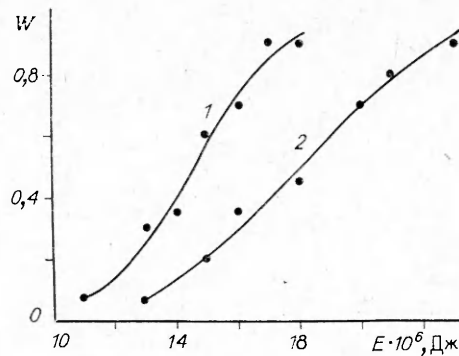
$$W = 1 - \exp \left\{ V_0 \int_0^{\infty} C(R) \ln \left[1 - \frac{1}{V_0} \int_{\varepsilon_{0i}}^{\infty} V(\varepsilon) d\varepsilon \right] dR \right\}. \quad (1)$$

Отсюда следует, что, если в эксперименте фиксировать распределение $V(\varepsilon)$ (условия освещения), значения W будут определяться только функцией $C(R)$, т. е. статистикой возможных центров инициирования.

При выборе в качестве объекта исследований азид свинца учитывалось [3], что поглощающие центры в азидной матрице представляют собой металлический продукт разложения исходного ВВ (свинец), не-

Зависимость вероятности инициирования азидов свинца от энергии лазерного излучения E .

1 — для азидов свинца, прогретого при температуре 80°C в течение 16 ч; 2 — для азидов свинца, не подвергавшегося дополнительному нагреву.



избежно присутствующий в силу термодинамической неустойчивости $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$, и для заметного изменения статистики достаточно провести дополнительное частичное разложение вещества, например путем термолитиза с глубиной, при которой количество возникающих при термолитизе включений стало бы сравнимым с исходным.

С этой целью две партии порошкообразного азидов свинца одного синтеза с размерами отдельных микрокристаллов $(10 \times 1,5 \times 1,5) \cdot 10^{-9} \text{ мм}^3$ подвергались вакуумной обработке при давлении 10 Па в течение времени $t = 16 \text{ ч}$ при температуре $T_1 = 20$ и $T_2 = 80^\circ\text{C}$ соответственно. Изменения оптических свойств азидов свинца в результате подобной обработки не обнаружено. В дальнейшем образцы ВВ обеих партий подготавливались и исследовались на устойчивость к действию излучения одномодового неодимового лазера с длительностью моноимпульса на полувысоте $\tau = 3 \cdot 10^{-8} \text{ с}$ при пятне воздействия диаметром $2 \cdot 10^{-1} \text{ мм}$ аналогично [2, 3].

Сравнение полученных кривых частоты взрывов $W(E)$, приведенных на рисунке, подтверждает наличие влияния дополнительного частичного разложения (статистики включений) на вероятность лазерного инициирования азидов свинца.

Анализ результатов [3] показывает, что вблизи порога инициирования при $\tau = 3 \cdot 10^{-8} \text{ с}$ условия возникновения взрывной неустойчивости в азиде свинца реализуются на включениях узкого спектра размером $(R_0 \pm \frac{1}{2} \Delta R) \approx (1,5 \div 2) \cdot 10^{-5} \text{ см}$. Поэтому для оценки вероятности возбуждения взрыва воспользуемся приближением

$$W \approx 1 - \exp \left\{ V_0 \int_{R_0 - \frac{1}{2} \Delta R}^{R_0 + \frac{1}{2} \Delta R} C(R) dR \ln \left[1 - \frac{1}{V_0} \int_{\epsilon_{0i}}^{\infty} V(\epsilon) d\epsilon \right] \right\} \approx$$

$$\approx 1 - \exp \left\{ V_0 C(R_0) \Delta R \ln \left[1 - \frac{1}{V_0} \int_{\epsilon_{0i}}^{\infty} V(\epsilon) d\epsilon \right] \right\}$$

или при фиксированном $V(\epsilon)$

$$W_j \approx 1 - \exp - [A \Delta C_j(R_0)],$$

где A — некоторая константа; $\Delta C(R_0) = C(R_0) \Delta R$; $j = 1$ для азидов свинца, обработанного в вакууме при $T_1 = 20^\circ\text{C}$, и $j = 2$ при $T_2 = 80^\circ\text{C}$.

В результате

$$\frac{\Delta C_1(R_0)}{\Delta C_2(R_0)} = \frac{\ln(1 - W_1)}{\ln(1 - W_2)}, \quad (2)$$

т. е. при фиксированных условиях облучения отношение концентраций включений опасных размеров однозначно определяется через экспери-

ментально измеряемые вероятности взрывов. Используя аррениусовскую зависимость скорости разложения от температуры, оценим верхний предел концентрации «опасных» включений

$$\Delta C_{12}(R_0) = \Delta C_2(R_0) - \Delta C_1(R_0),$$

образовавшихся в результате прогрева ВВ при $T_2 = 80^\circ\text{C}$;

$$\Delta C_{12}(R_0) \leq \frac{3\rho_a M_m z \exp(-E_0/RT_2)}{4\pi\rho_m M_a R_0^3}, \quad (3)$$

где E_0 — энергия активации термолиза; z — предэкспонент; R — газовая постоянная; ρ_a и ρ_m — плотности; M_a и M_m — молекулярная и атомарная масса азиды свинца и свинца соответственно.

Подставляя в (3) значения $E_0 = 3, 63 \cdot 10^4$ кал/моль, $z = 10^{13}$ с $^{-1}$, $\rho_a = 4,7$ г·см $^{-3}$, $\rho_m = 11,4$ г·см $^{-3}$, $M_a = 291$, $M_m = 207$, $T_2 = 353$ К, $R_0 = 1,5 \cdot 10^{-5}$ см и пользуясь приведенными на рисунке экспериментальными данными при $E = 10^{-5}$ Дж, находим:

$$\Delta C_{12}(R_0) \leq 3,9 \cdot 10^8 \text{ см}^{-3}, \quad \Delta C_1(R_0) = \Delta C_{12}(R_0) \frac{\ln(1-W_1)}{\ln(1-W_2) - \ln(1-W_1)} \leq \\ \leq 1,5 \cdot 10^8 \text{ см}^{-3}, \quad \Delta C_2(R_0) \leq 5,4 \cdot 10^8 \text{ см}^{-3}.$$

Полученные концентрационные оценки дают основания сформировать определенные представления о процессе. Прежде всего физически величина A в выражении (2) имеет смысл эффективного объема, в котором освещенность превышает критическую, т. е. $\varepsilon \geq \varepsilon_0$, и составляет $A \approx \frac{\ln(1-W)}{\Delta C_j(R_0)}$. При этом, если $K = -\ln(1-W) \gg 1$, K — наиболее вероятное количество частиц в объеме A , если $K \ll 1$, то K — вероятность нахождения частицы в этом объеме. Следовательно, при $K \ll 1$ и $K \gg 1$ инициирование есть результат возникновения взрывной неустойчивости на одном центре или на $n \approx K$ центрах. Но даже, если в освещенный объем попало $n \geq 2$ частиц, кооперативным влиянием частиц можно пренебречь. Согласно [4, 5], эти эффекты могут иметь место лишь на расстояниях между границами очагов $l \leq 1/3$ размера самих очагов. Следовательно, вероятность подобного события $W_1 \leq (n-1) \left(\frac{l+2R_0}{L_1}\right)^3 \approx (n-1) \Delta C_1(R_0) (2,3R_0)^3 \approx 4 \cdot 10^{-6} (n-1)$ и $W_2 \leq 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot (n-1)$ крайне мала. Здесь $L_j = [\Delta C_j(R_0)]^{-1/3} \approx 1,5 \cdot 10^{-3}$ см — среднее расстояние между центрами включений.

Таким образом, в результате проведенных исследований впервые обнаружено влияние статистики поглощающих неоднородностей на результат лазерного инициирования ВВ и, тем самым, подтверждены правомерность использования и прогностические возможности предложенной ранее модели процесса. Сделана оценка концентрации включений, способных явиться центрами очагов возбуждения взрывной неустойчивости в азиде свинца.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров Е. И., Вознюк А. Г. ФГВ, 1978, 14, 4, 86.
2. Александров Е. И., Ципилев В. П. ФГВ, 1983, 19, 4, 143.
3. Александров Е. И., Ципилев В. П. ФГВ, 1984, 20, 6, 104.
4. Zaturka M. V. Comb. Flame, 1975, 25, 1, 25.
5. Ананьев А. В., Земских В. И., Лейпунский О. И. ФГВ, 1983, 19, 4, 49.

Поступила в редакцию 24/II 1987