

**О ВЛИЯНИИ НАГРЕВА НА ОТКОЛЬНОЕ РАЗРУШЕНИЕ
НЕКОТОРЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ СОСТАВОВ**

В. К. Голубев, С. А. Новиков, Ю. С. Соболев

*ВНИИ экспериментальной физики,
607200 Кремлев*

Представлены результаты экспериментального исследования влияния нагрева на откольное разрушение четырех взрывчатых составов на основе гексогена и октогена. В температурном диапазоне 0...150 °С определены критические по скорости удара и давлению в нагружающем импульсе сжатия уровни нагружения, превышение которых приводит к макроскопическому откольному разрушению образцов. Отмечено влияние вида и процентного содержания связующего на ход температурных зависимостей этих уровней.

Вопросы динамической прочности и разрушения взрывчатых материалов не получили достаточно широкого освещения в научной литературе. Можно лишь отметить работы [1, 2], связанные с данной тематикой. В [1] для тэна и четырех составов на основе октогена получены результаты по динамической прочности в условиях одноосного растяжения. В [2] изучалось откольное разрушение высокоэнергетического твердого ракетного топлива, т. е. фактически соответствующим образом стабилизированного взрывчатого состава. Однако необходимость решения некоторых прикладных задач, связанных с использованием взрывчатых материалов в экстремальных условиях, а также и определенный научный интерес послужили стимулом к проведению настоящей работы, в которой поставлена задача выяснить влияние нагрева до температуры 150 °С на предельные возможности сопротивления некоторых взрывчатых составов откольному разрушению при их ударно-волновом нагружении.

Исследовались четыре взрывчатых состава — по два на основе гексогена и на основе октогена. Два первых — это широко используемый ТГ50/50, а также ГТК-70, содержащий 30 % тротил-коллоксилинового связующего с соотношением указанных компонентов 2/1. Два других — состав ОТК-90, содержащий 10 % тротил-коллоксилинового связующего, и состав ОФА-6 (связующее 6 % фторопласта и 1 % короткоразмерного фенилонового волокна). Образцы изготавливали методом прессования (размеры $\varnothing 40 \times 4$ мм, плотность $\rho_3 = 1,65, 1,72, 1,85$ и $1,87$ г/см³ соответственно) и испытывали по методике [3]. Образцы крепились к медному экрану толщиной 12 мм и нагружались ударом по экрану алюминиевой пластины толщиной 4 мм, разгоняемой до необходимой скорости w . Нагрев осуществлялся электронагревателем, а температура T регистрировалась хромель-копелевой термопарой. В опытах определялась критическая скорость удара, незначительное превышение которой приводило к макроскопическому откольному разрушению образцов. Переход от скорости удара к давлению p в нагружающем импульсе осуществлялся по формуле акустики

$$p = \frac{2\rho_3 c_3 w}{\left(1 + \frac{\rho_2 c_2}{\rho_1 c_1}\right) \left(1 + \frac{\rho_3 c_3}{\rho_2 c_2}\right)},$$

где в качестве объемной скорости звука c использовались соответствующие коэффициенты в соотношениях между массовой и волновой скоростями $D = c + \lambda u$. Для материала ударника $\rho_1 = 2,7$ г/см³, $c_1 = 5,3$ км/с,

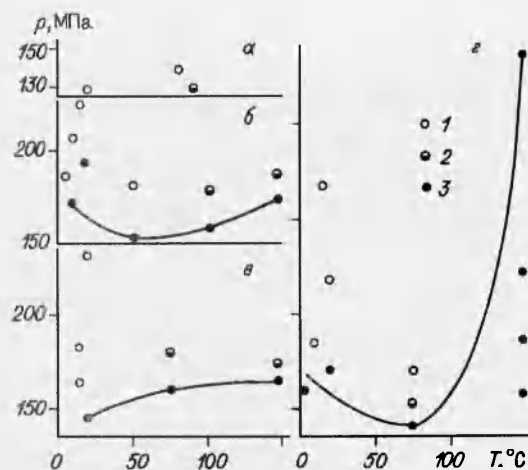


Рис. 1. Влияние температуры на откольное разрушение составов ТГ50/50 (а), ОТК-90 (б), ОФА-6 (в) и ГТК-70 (з).

1 — полное откольное разрушение; 2 — частичное макроскопическое откольное разрушение; 3 — сохранение макроскопической целостности образца.

характеристики материала экрана — $\rho_2 = 8,9 \text{ г/см}^3$, $c_2 = 4,0 \text{ км/с}$. Для взрывчатых составов ТГ50/50, ГТК-70, ОТК-90 и ОФА-6 использовались значения $c_3 = 2,7, 2,4, 2,7$ и $2,5 \text{ км/с}$ соответственно, а плотности ρ_3 приведены выше. Характерное время нагружения оценивалось в $1,5 \text{ мкс}$, что соответствовало времени циркуляции акустической волны в алюминиевой пластине-ударнике.

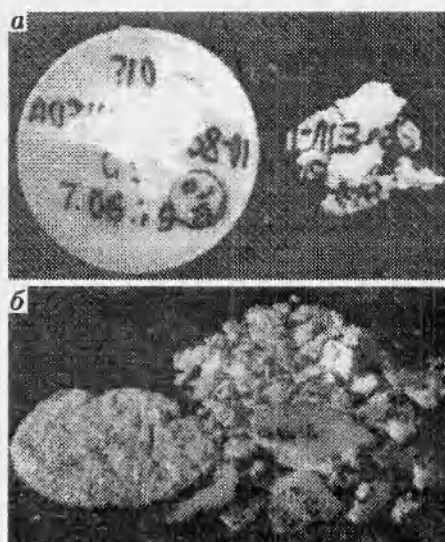


Рис. 2. Внешний вид образцов ГТК-70, подвергшихся частичному (а) ($T = 75 \text{ }^\circ\text{C}$, $p = 150 \text{ МПа}$) и полному (б) ($T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $p = 220 \text{ МПа}$) откольному разрушению.

Результаты экспериментов представлены на рис. 1, где конкретным условиям нагружения ставится в соответствие визуально наблюдаемое состояние образца после нагружения, условно подразделяемое на три градации. В случае полного откольного разрушения наблюдалось отслоение всей либо большей части тыльной поверхности образца. Увеличение интенсивности нагружения приводило к разрушению материала образца на значительное число фрагментов. В случае частичного макроскопического откольного разрушения наблюдалось отслоение части тыльной поверхности образца.

Внешний вид образцов ГТК-70, подвергшихся откольному разрушению, показан на рис. 2. Третья градация соответствовала со-

хранению макроскопической целостности образца. Это состояние не исключало, особенно при нормальной температуре, визуально наблюдаемой трещиноватости на поверхности не разрушенного в макроскопическом смысле образца.

Для всех взрывчатых составов, кроме малопрочного ТГ50/50, в исследуемом диапазоне параметров нагружения, указанных на рис. 1, может быть сделано ориентировочное разделение зон, соответствующих гаранти-

рованному сохранению макроскопической целостности и возможному макроскопическому откольному разрушению. Рассмотрение полученных результатов указывает на аномальное поведение состава ТГ50/50 и содержащего максимальное количество легкоплавкого тротил-коллоксилинового связующего состава ГТК-70. Так, образец ТГ50/50, нагруженный при нормальной температуре, разрушился на значительное число мелких фрагментов, а нагруженный при $T = 90^\circ\text{C}$ имел вид, подобный изображенному на рис. 2,а. Состав ГТК-70, нагруженный при $T = 150^\circ\text{C}$ импульсом давления 330 МПа, выглядел несколько деформированным и расплюснутым, однако полностью сохранил свою макроскопическую целостность. С целью выяснения причин подобного явления исследовалось состояние образцов в процессе нагревания. В результате было получено, что нагрев образцов ТГ50/50 и ГТК-70 соответственно до температур 90 и 150 $^\circ\text{C}$ приводил к тому, что они становились мягкими и эластичными. Нагрев двух других образцов до температуры 150 $^\circ\text{C}$ не приводил к заметному изменению их консистенции. Таким образом, наблюдаемый эффект может быть связан с переходом указанных составов в высокоэластичное состояние, более устойчивое по сравнению с первоначально хрупким к воздействию кратковременного ударно-волнового нагружения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hoge K. G. Dynamic tensile strength of explosive materials // Explosivstoffe. 1970. N 2. P. 39-41.
2. Murri W. J., Curran D. R., Seaman L. Fracture model for high energy propellant // Shock Waves in Condensed Matter. 1981 / Ed. by W. J. Nellis, et al. N. Y: AIP, 1982. (AIP Conf. Proc.; N 78). P. 460-464.
3. Голубев В. К., Новиков С. А., Соболев Ю. С. О влиянии температуры на откольное разрушение полимерных материалов // ПМТФ. 1982. № 1. С. 143-150.

*Поступила в редакцию 19/VIII 1994 г.,
в окончательном варианте — 21/II 1995 г.*