

## СРОЧНОЕ СООБЩЕНИЕ

УДК 662.215

## КРИВАЯ ТОРМОЖЕНИЯ ХИМПИКА — НОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕТОНИРУЮЩИХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

В. И. Таржанов

РФЯЦ, ВНИИ технической физики им. акад. Е. И. Забабахина, 456770 Снежинск, v.i.tarzhanov@vniitf.ru

Предлагается новая характеристика детонирующих ВВ — кривая торможения химпика. Приведен пример построения такой кривой по экспериментальным данным ВНИИТФ для детонирующего пластифицированного ТАТБ.

Ключевые слова: взрывчатое вещество (ВВ), детонация, пластифицированный ТАТБ, химпик (пик Неймана), метод преград, лазерно-интерферометрическая диагностика.

DOI 10.15372/FGV20200614

Для отыскания параметров детонации в конденсированных взрывчатых веществах (ВВ) с 1940-х годов используется метод преград [1], заключающийся в том, что плоская детонационная волна тормозится на преградах из материалов разной динамической жесткости. По измеряемым кинематическим параметрам ударных волн в преградах выявляют так называемую кривую торможения продуктов взрыва и точку Чепмена — Жуге на пересечении кривой с волновым лучом:  $p = \rho Du$ , где  $p$  — давление,  $\rho$  — плотность ВВ,  $D$  и  $u$  — скорость детонации и массовая скорость. Хотя кривая торможения выше точки Чепмена — Жуге является ударной адиабатой повторного сжатия продуктов взрыва, а нижняя ветвь — изоэнтропа их разгрузки, они имеют общую касательную в этой точке, что позволяет обе ветви рассматривать как единую кривую и описывать единой аппроксимирующей функцией [2]. Термин «кривая торможения» оправдан еще тем, что торможение продуктов взрыва относительно разлета в свободное пространство происходит на обеих ветвях.

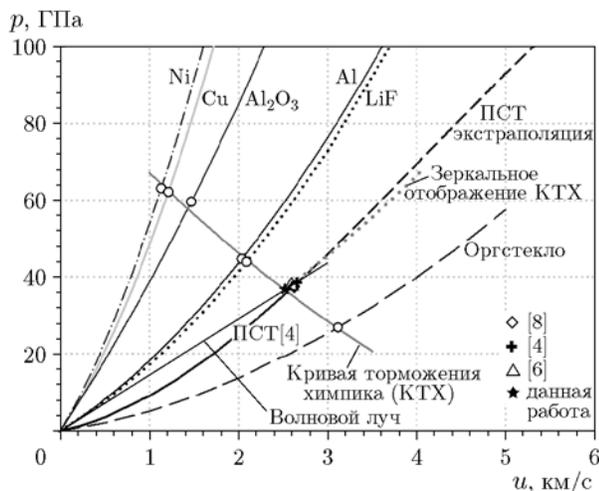
В варианте метода преград с лазерно-интерферометрической диагностикой, реализованном в [3], обнаружены его новые возможности. Измерение ударно-волновых параметров в тонких преградах (0.03 ÷ 0.4 мм) и регистрация структуры детонационной волны на границе с прозрачными окнами разной динамиче-

ской жесткости позволяют получать параметры торможения ВВ из состояния на вершине химпика — состояния с максимальными давлением и массовой скоростью, находящегося непосредственно за детонационным фронтом. Считается, что ВВ в этой прифронтной области химпика является нереагирующим [3–5]. В связи со сказанным открывается возможность предложить новую характеристику детонирующего ВВ — кривую торможения химпика. Пример построения такой кривой по экспериментальным данным приведен на рисунке. В координатах давление — массовая скорость показаны полученные в работе [3] экспериментальные точки торможения химпика стационарной детонации в пластифицированном ТАТБ на преградах из никеля, меди, алюминия и фтористого лития, а также две дополнительные точки, полученные авторским коллективом [3] для преград из сапфира и оргстекла. Состояния на контактной границе ВВ с фольгами из никеля, меди, алюминия получены экстраполяцией данных, зарегистрированных при разных толщинах преград в диапазоне 0.03 ÷ 0.4 мм, к их нулевой толщине.

Кривая торможения химпика строится аппроксимацией экспериментальных точек. В диапазоне массовой скорости  $u = 1 \div 3.5$  км/с они аппроксимированы зависимостью

$$p = 90.9952 - 25.476u + 1.5415u^2,$$

где  $p$  — [ГПа],  $u$  — [км/с].



$p, u$ -Диаграмма состояний торможения химпика детонирующего пластифицированного ТАТБ (ПСТ) на границе с фольгами из Ni, Cu, Al, а также с окнами из сапфира ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), LiF и оргстекла. Кривая торможения химпика:

○ — экспериментальные точки [3]; сплошная линия — аппроксимирующая кривая; кривые, исходящие из начала координат, — ударные адиабаты материалов по [9]

Полезность кривой торможения химпика состоит, во-первых, в том, что она является кривой максимальных давлений в материалах при детонационном нагружении и дает возможность оценивать эти давления методом  $p, u$ -диаграмм. Во-вторых, появляется возможность реализации нового метода прямого экспериментального нахождения максимальных параметров на химпике (состояния Неймана) без общепринятого [4–7] привлечения экстраполяции ударной адиабаты нереагирующего ВВ. Пересечение кривой с волновым детонационным лучом дает эти параметры. Точность такого метода нахождения состояния на пике Неймана достаточно высока, так как  $p$  и  $D$  определяются точно, а кривая торможения построена по нескольким точкам, лежащим как ниже, так и выше искомого состояния.

Найденное предложенным методом состояние на пике Неймана в исследуемом пластифицированном ТАТБ  $u_N = 2.52 \pm 0.02$  км/с,  $p_N = 36.6 \pm 0.5$  ГПа. Это состояние показано на рисунке в сравнении с данными для пластифицированного ТАТБ из [4] —  $u_N = 2.65$  км/с,  $p_N = 38.5$  ГПа, из [6] —  $u_N = 2.59$  км/с,  $p_N = 37.7$  ГПа, из [8] —  $u_N = 2.62 \pm 0.03$  км/с,  $p_N = 37.4$  ГПа. Эти точки расположены достаточно близко к найденному состоянию.

На рисунке приведено также зеркальное отображение кривой торможения химпика, исходящее из полученного в данной работе состояния Неймана. Эта кривая значительно отличается от экстраполяции ударной адиабаты нереагирующего ВВ, что свидетельствует о некорректности использования последней для нахождения рассматриваемого состояния по регистрируемым параметрам на границе ВВ — окно. Необходимо использовать для этого представляемую в данной работе кривую торможения химпика.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Альтшулер Л. В. Применение ударных волн в физике высоких давлений // *Успехи физ. наук.* — 1965. — Т. 85, вып. 2. — С. 197–268.
2. *Физика взрыва* / под ред. Л. П. Орленко. — М.: Физматлит, 2004. — Т. 1.
3. Гаржанов В. И., Воробьев А. В., Еськов А. Н., Кучко Д. П., Ральников М. А., Комаров Р. В. Использование метода тонких преград для исследования кинетики разложения ВВ вблизи фронта детонации // XXI Харитоновские тематические научные чтения, 15–19 апреля 2019 г., г. Саров: тр. междунар. конф. — Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2019. — С. 88–93.
4. Шорохов Е. В., Литвинов Б. В. Ударная сжимаемость взрывчатых композиций на основе ТАТБ в диапазоне давлений от 0.1 до 40 ГПа // *Хим. физика.* — 1993. — Т. 12, № 5. — С. 722–723.
5. Федоров А. В. Параметры пика Неймана и структура фронта детонационной волны конденсированных взрывчатых веществ // *Хим. физика.* — 2005. — Т. 24, № 10. — С. 13–21.
6. Лобойко Б. Г., Любятинский С. Н. Зоны реакции детонирующих твердых взрывчатых веществ // *Физика горения и взрыва.* — 2000. — Т. 36, № 6. — С. 45–64.
7. Федоров А. В., Михайлов А. Л., Антонюк Л. К., Назаров Д. В., Финюшин С. А. Определение параметров детонационных волн в монокристаллах тэна и октогена // *Физика горения и взрыва.* — 2011. — Т. 47, № 5. — С. 117–122.
8. Sheffield S. A., Bloomquist D. D., Tarver C. M. Subnanosecond measurements of detonation fronts in solid high explosives // *J. Chem. Phys.* — 1984. — V. 80, N 8. — P. 3831–3844.
9. Экспериментальные данные по ударно-волновому сжатию и адиабатическому расширению конденсированных веществ / под ред. Р. Ф. Трунина. — Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2006.

Поступила в редакцию 30.07.2020.  
Принята к публикации 03.08.2020.