

ВЫСОКОСКОРОСТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УДАРНИКОВ ИЗ РЕАКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПРЕГРАДОЙ

В. В. Барабин, А. В. Гладцинов, И. В. Занегин, А. П. Калмыков, А. В. Кальманов, А. В. Свидинский

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Реакционные материалы (РМ) – класс веществ, состоящих обычно из невзрывчатых твердых компонентов, инертных в обычных условиях и способных к горению или взрыву при сильном механическом воздействии. РМ активно используются за рубежом при разработке боеприпасов повышенного могущества.

Важной особенностью РМ является относительно высокая прочность, сравнимая с конструкционными материалами. Основные преимущества РМ:

- энерговыделение после проникания обеспечивает мощное запреградное действие;

- срабатывание без взрывателя (увеличение полезного объема в малокалиберных боеприпасах, повышение безопасности боеприпасов ввиду отсутствия чувствительного элемента).

Целью данной работы являлось определение эффективности замены инертных ударников (осколков, фрагментов) на ударники из РМ.

Экспериментальные исследования проводились с использованием пороховой нагружающей установки (ПНУ) калибром 14,5 мм в два этапа. Целью экспериментальных исследований первого этапа являлось определение опытным путем параметров высокоскоростного взаимодействия (внедрение и пробитие преграды, запреградная скорость и свечение в запреградской области) инертных ударников (И) и ударников, выполненных из различных составов РМ, по металлическим преградам.

Схема проведения экспериментальных исследований первого этапа представлена на рис. 1. В стволе 1 разгонялся метаемый объект 3. МО состоит из цилиндрического ударника (ударник из РМ, либо инертный ударник) $\varnothing 9,9$ мм и направляющего устройства (полиэтилен) $\varnothing 14,5$ мм, рис. 2. Вес ударника составлял $\approx 6,5$ г, общий вес МО составлял ≈ 15 г. После выхода МО из ствола ПНУ направляющее устройство отсекалось, и ударник соударялся с мишенью 10, рис. 1.

Экспериментальные исследования проводились с тремя составами РМ при скорости соударения ударника с мишенью 600, 900, 1300 и 1800 м/с, угол подхода $\approx 90^\circ$, угол атаки $\approx 0^\circ$. В разные составы РМ входили Al, Mg, Ni, Ti, W и фторопласт в разных пропорциях. Во всех экспериментах ударники из РМ сохранили свою механическую прочность при разгоне в стволе ПНУ.

В качестве мишеней 10, рис. 1, использовались стальные листы, гарантировано пробиваемые ударниками. Значения толщин мишеней были выбраны по результатам предварительных расчетов пробивного действия ударника из РМ. В качестве щита-свидетеля 11, рис. 1, также использовались стальные листы (для определения параметров осколочного поля, возникающего после пробития мишени ударником).

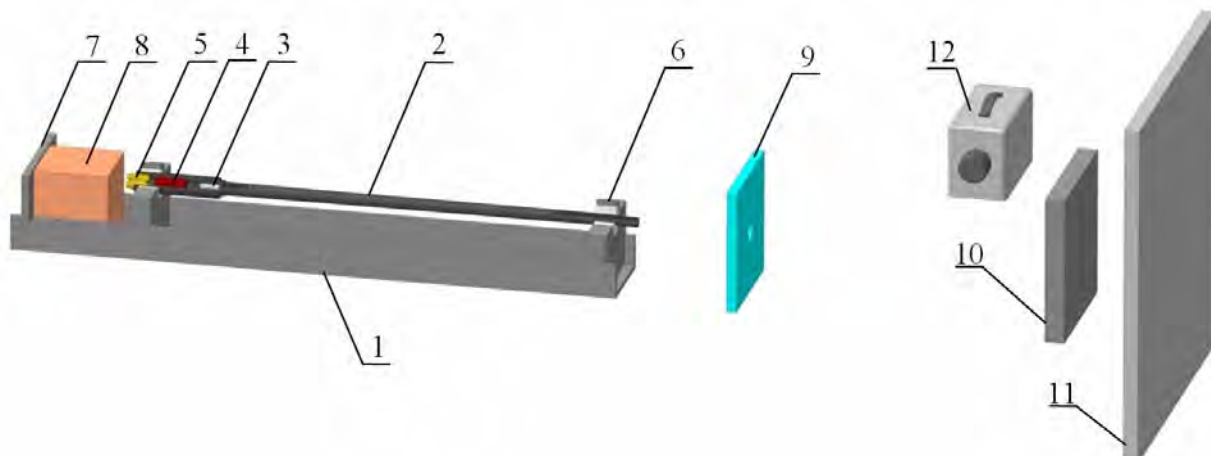


Рис. 1. Схема проведения исследований первого этапа с РМ: 1 – ступень; 2 – ствол ПНУ; 3 – МО; 4 – пороховой МЗ; 5 – затвор; 6 – ложемент; 7 – упор; 8 – демпфер; 9 – отсекатель; 10 – мишень $150 \times 150 \times h$ мм; 11 – щит-свидетель $500 \times 500 \times 3$ мм; 12 – скоростная видеокамера

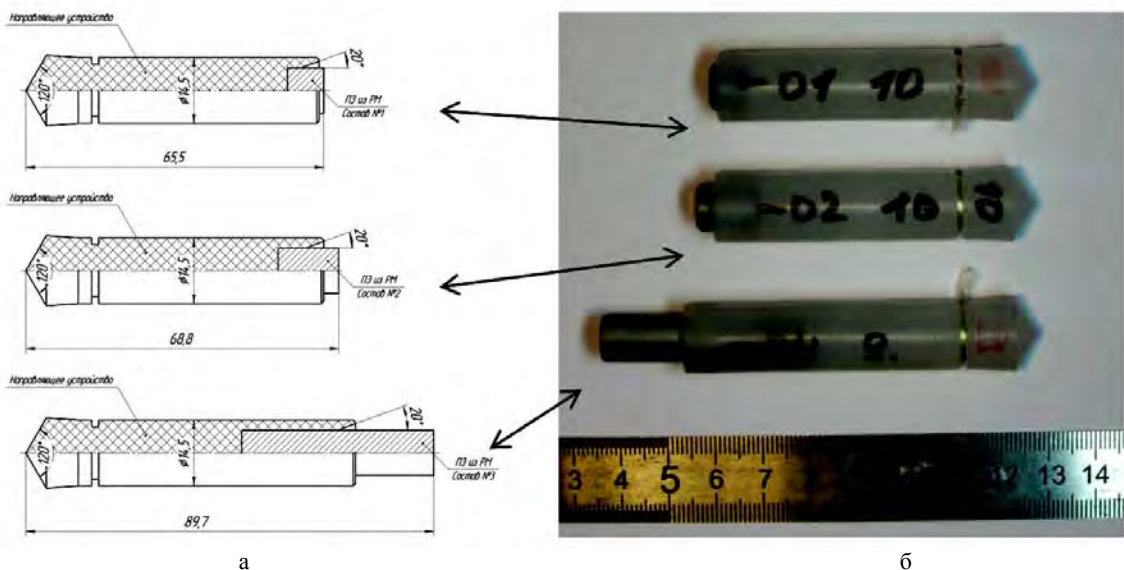


Рис. 2. Схемы и внешний вид МО: а – схемы МО разных типоразмеров, б – внешний вид МО с ударниками из РМ разного состава

Для определения состояния, пространственного положения ударников (И) и из (РМ), их скорости движения на траектории свободного полета до момента взаимодействия с преградой, в процессе взаимодействия с преградой, а также для определения

запреградной скорости проводилась видеосъемка с помощью скоростной видеокамеры (20000 кадр/с) 12, рис. 1.

Результаты экспериментальных исследований первого этапа представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований первого этапа

№ эксперимента	Наименование РМ	Тип ударника	Длина ударника, мм	Масса ударника, г	Плотность ударника, г/см ³	Толщина мишени, мм	Скорость движения по видео, м/с	Кинетическая энергия ударника, кДж	Запреградная скорость ¹⁾ , м/с	Запреградная скорость от скорости ударника, %	Время свечения ²⁾ , мс	
5	Состав № 1	И	8,0÷8,5	6,2÷6,5	≈10,5	3	636	1,25	430 (о)	67,6	–	
6		РМ					631	1,29	440 (о)	69,7	5,3	
9		И					902	2,52	590 (п)	65,4	–	
10		РМ					911	2,70	556 (о)	61,0	7,0	
13		И				8	1301	5,25	625 (о)	48,0	–	
14		РМ					1301	5,50	666 (о)	51,2	10,0	
1		И					10	1753	9,53	910 (о)	51,9	–
2		РМ						1773	10,25	– ³⁾	–	5,0
7	Состав № 2	И	12,0÷13,5	6,2÷6,6	≈6,3	3	620	1,21	354 (п)	57,1	–	
8		РМ					636	1,34	385 (п)	60,5	>25	
11		И					894	2,48	673 (п)	75,3	–	
12		РМ					890	2,62	526 (о)	59,1	>1,3	
15		И				8	1318	5,39	666 (о)	50,5	–	
16		РМ					1324	5,81	666 (о)	50,3	100	
3		И					10	1781	9,83	– ³⁾	–	–
4		РМ						1744	10,08	– ³⁾	–	>10,0
17	Состав № 3	И	40,0÷42,0	6,5÷6,6	≈2,3	3	603	1,18	– ⁴⁾	–	–	
18		РМ					581	1,12	– ⁴⁾	–	–	
19		И					896	2,60	426 (п)	47,5	–	
20		РМ				919	2,81	445 (о)	48,4	3,6		

¹⁾ – обозначение в скобках: о – крупный осколок соизмеримый с исходным размером ударника; п – мелкие осколки в виде частиц пыли;

²⁾ – свечение в запреградной области между мишенью и щитом-свидетелем после проникания ударника через мишень («–» – свечение отсутствует);

³⁾ – не представляется возможным определить по кадрам скоростной видеосъемки;

⁴⁾ – сквозного пробития мишени не произошло.

Характерные фотографии мишени и щита-свидетеля после проведения эксперимента представлены на рис. 3.

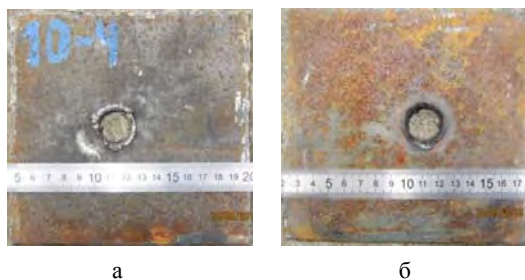


Рис. 3. Фотография мишени: а – лицевая сторона, б – тыльная сторона

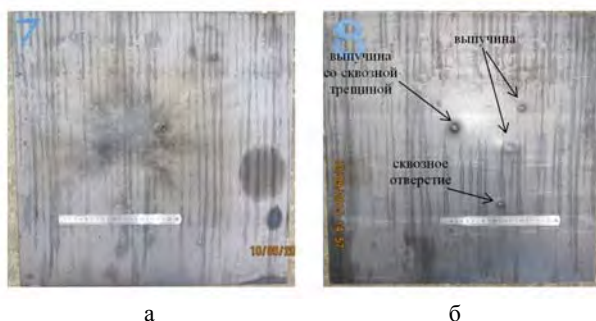


Рис. 4. Фотография щит-свидетеля: а – лицевая сторона, б – тыльная сторона

На рис. 5 представлено характерное сопоставление кадров видеосъемки двух экспериментов, выполненных в одинаковой постановке, с инертным ударником и ударником из РМ. Свечение в запреградной области между мишенью и щитом-свидетелем после проникания инертного ударника через мишень отсутствует, а после проникания ударника из РМ свечение, связанное с протеканием химической реакции в РМ, присутствует во всех экспериментах.

После анализа результатов экспериментальных исследований первого этапа сделаны следующие выводы:

- в отношении внедрения и пробития преграды, запреградной скорости, а также параметров осколочного поля отличий между ударниками из РМ и инертными ударниками для каждого из трех составов не наблюдается.

- свечение в запреградной области между мишенью и щитом-свидетелем для инертных ударников отсутствует, у ударников из РМ свечение присутствует во всех экспериментах (длительность свечения может достигать 100 мс), что свидетельствует о протекании химической реакции с выделением энергии.

- в отношении внедрения и пробития ударником преграды, а также осколочного поля отличий не наблюдается для составов № 1 и № 2. Состав № 3 в этой характеристике уступает двум другим составам.

- время свечения в запреградной области между мишенью и щитом-свидетелем для состава № 2 наибольшее, а для состава № 3 наименьшее.

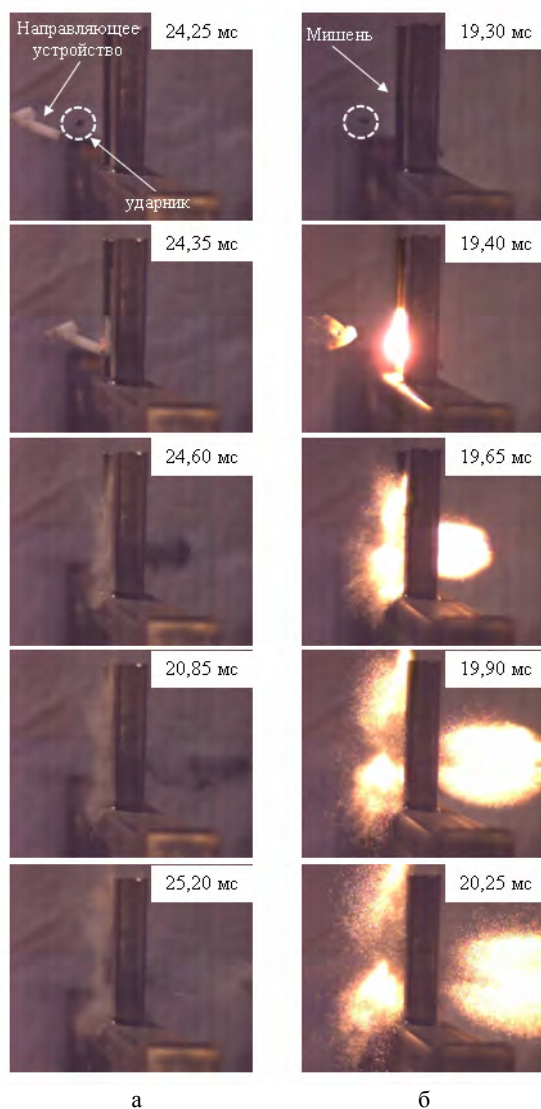


Рис. 5. Кадры видеосъемки экспериментов № 7 и № 8 (см. табл. 1): а – эксперимент № 7 с инертным ударником, 620 м/с, б – эксперимент № 8 с ударником из РМ, 636 м/с

Целью экспериментальных исследований второго этапа являлось определение запреградного действия инертных ударников и ударников из РМ, а также их сравнение между собой. Оценивался так называемый «термобарический» эффект – повышение давления в ограниченном пространстве за счет химической реакции (горение, взрывчатое превращение), происходящей в РМ. Схема проведения исследований представлена на рис. 6.

В начальный момент времени поршень 12 размещался в разгонной горловине замкнутой трубы 10 (объемом ≈ 30 л) так, что его верхняя грань выступала над разгонной горловиной. Ударник после пробития мишени 11 попадал в трубу 10. В результате в трубе создавалось избыточное давление, под действием которого поршень начинал движение. По ускорению поршня на начальном участке можно судить о величине избыточного давления, создаваемого в замкнутом объеме трубы. В экспериментах использовались

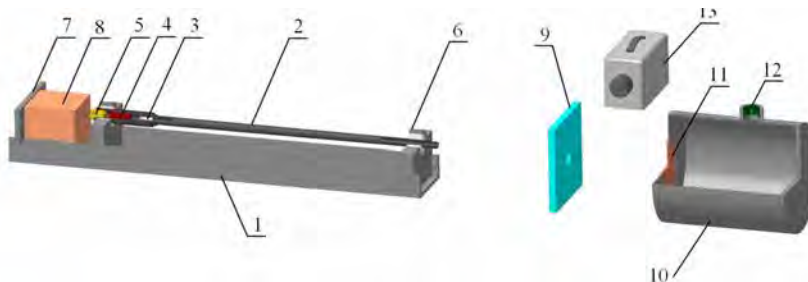


Рис. 6. Схема проведения исследований второго этапа с РМ: 1 – ступель; 2 – ствол ПНУ; 3 – МО; 4 – пороховой МЗ; 5 – затвор; 6 – ложементы; 7 – упор; 8 – демпфер; 9 – отсекагель; 10 – труба; 11 – мишень; 12 – поршень; 13 – скоростная видеокамера

Таблица 2

Результаты экспериментальных исследований второго этапа

№ эксперимента	Наименование РМ	Тип ударника	Высота ударника, мм	Масса ударника, г	Плотность ударника, г/см ³	Толщина мишени, мм	Скорость ударника по видео, м/с	Сквозное пробитие мишени	Средняя скорость поршня ¹ , м/с	Средний импульс поршня ¹ , Н·с	Макс. давление в трубе ² , атм.
1*	Состав № 1	И	7,5÷8,0	5,8÷6,4	≈10,5	4	886	+	5,5	0,07	0,04
2*		РМ					888	+	16,8	0,22	0,35
3*	Состав № 2	И	12,0÷13,0	≈6,5	≈6,3	8	1307	+	0,23	0,03	0,02
4*		РМ					1362	+	11,7	1,59	3,0
5*	Состав № 1	И	7,5÷8,0	6,0÷6,5	≈10,5	8	1199	+	0,7	0,10	0,03
6*		РМ					1337	+	6,4	0,87	0,45
7*	Состав № 3	И	37,0÷40,0	≈6,5	≈2,3	8	–	–	–	–	
8*		РМ				4	1337	–	–	–	–

¹) – на расстоянии равном одной высоте поршня от верхней грани разгонной горловины трубы;

²) – расчетная оценка по кинетической энергии поршня.

поршни двух типов: алюминиевый массой ≈13 г (опыт № 1* и 2*, см. табл. 2) и стальной массой ≈135 г (опыты № 3*–8*, см. табл. 2).

Результаты экспериментальных исследований второго этапа представлены в табл. 2. Из табл. 2 видно, что использование ударников из РМ дает рост избыточного давления в ≈10–100 раз по сравнению с ударником из инертного материала. Состав № 2 превосходит состав № 1 по этому параметру в ≈5–7 раз.

Заключение

Результаты проведенных экспериментальных исследований показывают, что применение ударников из РМ вместо инертных ударников (осколков, фрагментов) перспективно.

Замена инертных ударников на ударники из РМ не сказывается на пробивной способности в диапазоне скоростей 600–1800 м/с. Кадры видеосъемки показывают интенсивное протекание химической реакции (горение, взрывчатое превращение) в РМ после пробития мишени, приводящее к заметному «термобарическому» эффекту.