

ИНИЦИИРОВАНИЕ ВЗРЫВА УДАРОМ ПАСТООБРАЗНЫХ  
СМЕСЕЙ, ОБОГАЩЕННЫХ ВЫСОКОПРОЧНОЙ  
ИНЕРТНОЙ ДОБАВКОЙ

В. А. Тесёлкин, П. В. Комиссаров, Г. Н. Соколов

ИХФ РАН  
г. Москва, Россия

Влияние инертных добавок на чувствительность взрывчатых материалов (ВМ) к настоящему времени достаточно подробно изучено. На примере композиций взрывчатое вещество (ВВ) – добавка ранее было показано [1], что чувствительность смесей зависит от природы добавки, в частности от ее физико-механических и теплофизических свойств. В зависимости от указанных свойств добавка может оказывать флегматизирующее либо сенсibiliзирующее действие. Так, при введении в массу ВВ малопрочных пластичных добавок типа парафина наблюдается снижение чувствительности составов к механическим воздействиям. Если же инертная добавка является тугоплавкой и обладает абразивными свойствами (например, корунд, двуокись кремния и др.), то даже при малом ее содержании происходит повышение чувствительности смесей, о чем ранее указывалось в работе [2]. В случае использования в смесях энергоемких добавок, таких как бор, карбораны, гидрид алюминия и др. [3], также возможно возрастание чувствительности композиций. Однако в этом случае оно будет обусловлено химическим взаимодействием ВВ с высококалорийной добавкой.

Установлено [4], что твердые добавки ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) выступают в качестве сенсibiliзаторов и при добавлении к порошкообразному перхлорату аммония (ПХА). При этом окислитель проявляет свойства ВВ.

Несмотря на определенные достижения в исследовании чувствительности ВМ, содержащих добавки сенсibiliзаторов, некоторые вопросы механизма их инициирования остались малоизученными. В частности, недостаточно исследованы вопросы влияния размера частиц добавок, их содержания на процесс инициирования смесей. Практически отсутствует информация о механизме возбуждения взрыва пастообразных ВМ (ПМ), содержащих абразивные добавки. С учетом этого обстоятельства в настоящей работе предпринята попытка изучения влияния абразивной добавки на поведение пастообразных композиций на основе ПХА при ударе. В качестве такой добавки использовался гранулированный керамический порошок (ГКП), диаметр гранул которого варьировался в диапазоне 0,2–0,4 мм.

Были получены и проанализированы характеристики чувствительности стехиометрической смеси ПХА с нитрометаном (НМ), загущенным 1%-ным

Характеристики чувствительности к удару твердых ВВ

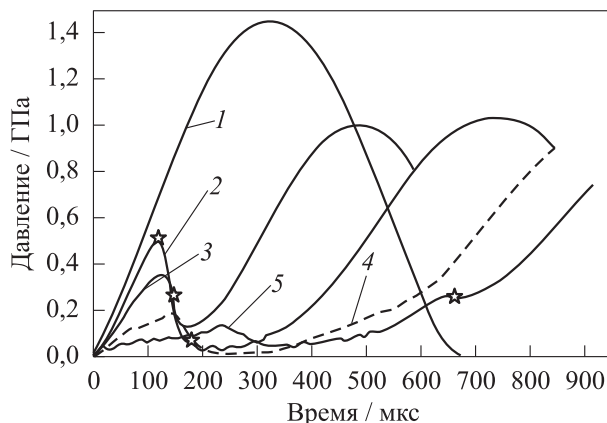
ВВ	$P_{кр}$ , ГПа	$W_{кр}$ , Дж/см <sup>2</sup>
ТНТ	1,07	
ПХА	0,85	
Октоген	0,65	24,2
Тэн	0,49	
Азид свинца	0,26	
ПХА/НМ(1% ПММА) 60/40	—	> 60
[ПХА/НМ(1% ПММА) 60/40] / ГКП — 28/72	0,16	< 6,2

**Примечания:**  $P_{кр}$  — критическое давление возбуждения взрыва при ударе в приборе 2 (прибор со свободным истечением вещества);  $W_{кр}$  — критическая энергия инициирования (минимальная энергия удара, соответствующая 50% взрывов при критической толщине таблетки).

полиметилметакрилатом (ПММА) (композиция А), а также состава на ее основе с ГКП при весовом соотношении компонентов 28/72 (композиция В). Эксперименты проводились на вертикальном копре К-44-П с использованием методов критического напряжения (МКН) [5] и критической энергии удара [6]. С помощью МКН исследованы особенности деформации и разрушения тонких слоев пастообразных материалов, измерены критические параметры инициирования взрыва при ударе, изучено влияние скорости нагружения, предварительного термостатирования и др. на величину  $P_{кр}$ .

Результаты экспериментов приведены в таблице. Для сравнения в ней же представлены характеристики чувствительности для некоторых ВВ, полученные ранее в ИХФ РАН. Оказалось, что состав А является нечувствительным к удару, т. е. не взрывается при испытаниях. Анализ осциллограмм давления показал, что течение вещества при ударе происходит в режиме устойчивой деформации. За время  $\sim 50$  мкс при давлении  $\sim 200$ –300 бар слой толщиной 0,36 мм практически полностью выдавливается из-под соударяющихся пуансонов. Тонкий остаточный слой высотой  $\sim 0,09$  мм не разрушается при ударе, а деформируется упруго. При таком характере деформации достижение высокотемпературных разогревов невозможно, что и объясняет нечувствительность состава к удару.

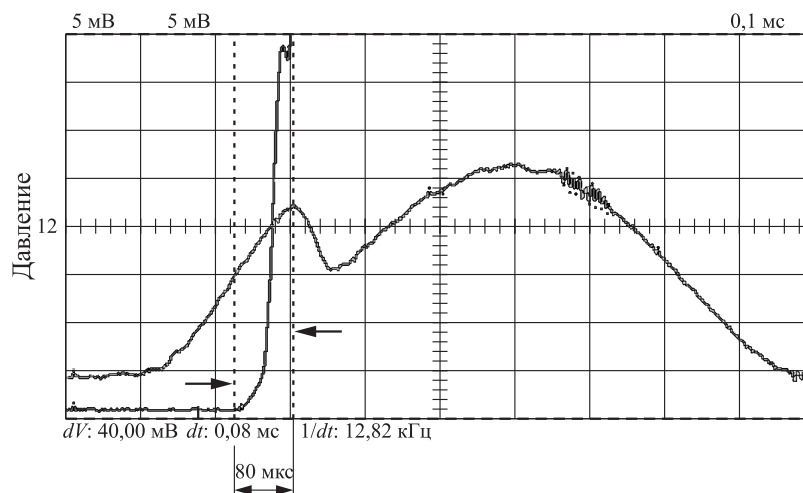
Иницирование взрыва существенно облегчается при введении в композицию ГКП, о чем свидетельствуют низкие значения параметров  $P_{кр}$ ,  $W_{кр}$ . Гранулированный керамический порошок обладает высокой твердостью и механической прочностью. Установлено, что предел прочности добавки является предельно высоким и составляет 380 МПа, что в несколько раз (5–10) выше прочности штатных ВВ. Сенсибилизирующее действие твердых добавок хорошо известно [2] и связано с их фрикционным разогревом до температур, обеспечивающих воспламенение ВВ в процессе разрушения заряда.



**Рис. 1** Зависимости  $P(t)$  для различных начальных слоев состава В (высота сбрасывания груза 25 см): 1 — холостой удар; 2 —  $h_0 = 0,60$  мм; 3 — 0,93; 4 — 1,33; 5 —  $h_0 = 1,50$  мм. Звездочками обозначены моменты воспламенения слоя

Методом критических напряжений изучено поведение композиции В при ударе. На рис. 1 приведено семейство кривых  $P(t)$ , полученных при обработке осциллограмм давления тонких слоев ПМ различной толщины. Из графика видно, что с увеличением  $h_0$  возрастает неупругая деформация слоя и для зарядов толщиной более 1,00 мм преобладающей становится пластическая деформация.

При инициировании состава В обнаружены случаи срабатывания фото диода до момента разрушения слоя. Если при сбрасывании груза с 25 см отмечались лишь единичные случаи всплеск до разрушения слоя, то при  $H_{сбр} = 40$  см они происходили практически в каждом опыте при толщинах, ограниченных сверху критической толщиной заряда ( $h_0 < h_{кр}$ ). На рис. 2 приведена осциллограмма, из которой видно, что всплеск (нижний луч) опережает разрушение слоя (верхний луч) примерно на 80 мкс. Левая стрелка указывает на момент возникновения всплески, правая соответствует началу разрушения заряда. Воспламенение образцов до разрушения можно объяснить следующим образом. Во время удара происходит откол периферийной части слоя при сохранении несущей способности заряда. Движение отколовшейся части в межроликном пространстве сопровождается фрикционным разогревом вещества и заканчивается его воспламенением. Ранее отмечалось [4], что инициирование хрупких ВМ происходит только в процессе их прочностного разрушения. Видно, что воспламенение вещества может возникать при ударе и до прочностного разрушения заряда, как это имеет место при инициировании пастообразных материалов, обогащенных абразивной добавкой. Однако, несмотря на легкость инициирования



**Рис. 2** Оциллограмма давления при ударе по слою  $h_0 = 0,50$  мм,  $H_{сбр} = 40$  см. Вспышка опережает разрушение на 80 мкс

этих композиций, распространение взрыва в них затруднено (существенная неполнота взрыва, наличие остаточных слоев вещества после удара и др.), из-за теплопотерь ввиду высокого содержания инертной добавки. Поэтому из совместного рассмотрения условий возбуждения и распространения взрыва можно сделать вывод о низкой механической чувствительности ПМ, обогащенных абразивной добавкой.

## Литература

1. Карпухин И. А., Боболев В. К. Влияние флегматизатора на возбуждение и развитие взрыва ВВ при ударе // ФГВ, 1967. Т. 3. № 4. С. 485–492.
2. Боуден Ф., Иоффе А. Возбуждение и развитие взрыва в жидких и твердых веществах. — М.: ИЛ, 1955. 120 с.
3. Теселкин В. А. Закономерности инициирования взрыва смесей октоген – высококалорийная добавка // Хим. физика, 2010. Т. 29. № 9. С. 29–36.
4. Карпухин И. А., Боболев В. К., Теселкин В. А. О механизме возбуждения взрыва ударом в смесях перхлората аммония с горючими добавками // ФГВ, 1971. Т. 7. № 2. С. 261–264.
5. Афанасьев Г. Т., Боболев В. К. Иницирование твердых ВВ ударом. — М.: Наука, 1968. 173 с.
6. Дубовик А. В. Методология исследований чувствительности ВВ к механическим воздействиям // Взрывчатые вещества и пиротехника. — М.: ЦНИИНТИ, 1994. № 7/8. С. 3–11.