

РАЗЛОЖЕНИЕ ОКИСЛИТЕЛЕЙ В ПРОЦЕССАХ ПРОБИВАНИЯ ТОНКИХ ПРЕГРАД

УДК 629.198.624

Г. В. Иванов, В. Г. Сурков

Институт химии нефти СО РАН,
634055 Томск

Экспериментально исследовано поведение окислителей (перхлоратов, нитратов, окислов) при высокоскоростном пробитии тонких преград. Изученные окислители разлагаются в запреградном потоке осколков, причем минимальная скорость соударения, при которой происходит заметное разложение окислителя, коррелирует с температурой начала их термического разложения. Наблюдаемое в экспериментах интенсивное сгорание осколков преграды и капсулы, в которой металась окислители, протекающее в некоторых случаях во взрывном режиме, связано с высокой химической активностью свежееобразованных поверхностей, возникающих в процессе пробития.

Интерес к проблеме высокоскоростного удара по тонким преградам достаточно высок, что связано с поиском эффективных и универсальных конструкций защиты аппаратов как космических, так и работающих в земных условиях. Одним из факторов, определяющих разрушающее действие запреградного потока осколков, при прочих равных условиях (скорость удара, угол подлета частицы), является материал частицы. Во всех исследованиях по высокоскоростному пробитию тонких преград в качестве материала частицы рассматриваются либо металлы (монокристалл, пористое тело), либо керамика (стекло). Однако в реальных условиях высокоскоростные частицы, образующиеся при аварийных взрывах, а также «космический мусор», как указано в [1], могут содержать химически активные вещества, поведение которых в запреградном потоке заведомо будет отличным от металлов.

Цель работы — изучить поведение широко используемых в твердых топливах и пиротехнических устройствах окислителей (перхлоратов, нитратов, окислов) при высокоскоростном пробитии тонких преград. Порошки окислителей марки Ч или ЧДА дисперсностью < 80 мкм прессовались в таблетки (диаметр 1,7, высота 3 см, относительная плотность 0,8–0,95) и помещались в дюралюминиевый корпус. В качестве корпуса использовались два ввинчивающихся друг в друга стакана с внешним диаметром 2,3 и высотой 3,6 см. Метание элементов осуществлялось с помощью пороховой установки. Изученный диапазон скоростей $u = 400$ – 1800 м/с, скорость элементов измерялась с помощью «рам-мишеней», погрешность измерения $\pm 3\%$. Процесс пробития регистрировался скоростной кинокамерой СКС-1М (7000 кадр/с). В качестве мишени использовалась дюралюминиевая пластина (300 × 300 мм) толщиной 6 мм. Чтобы иметь возможность анализа продуктов разложения окислителей, за преградой последовательно через 10 см устанавливались две дюралюминиевые пластины (300 × 300 мм) толщиной 3 мм. Стандартным химическим анализам подвергался налет, смываемый со второй и третьей преград. В ходе экспериментов получены следующие результаты.

Перхлорат калия. При $u < 1200$ м/с элементы, содержащие перхлорат калия, про-

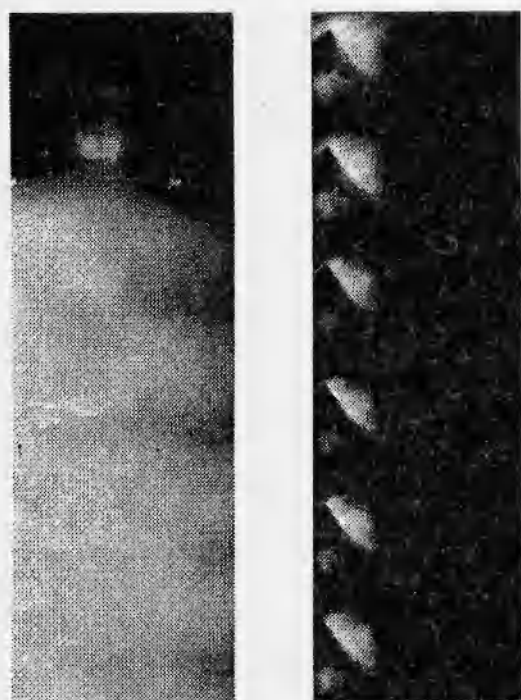


Рис. 1. Кинограмма процесса пробития преград элементом, содержащим перхлорат калия, $u_{уд} = 1400$ м/с (первый кадр в верхнем левом углу)

бывают преграды, как инертное тело (в качестве инертного использовался корпус, заполненный SiO_2). Смытый налет по составу соответствует исходному перхлорату калия. При более высоких скоростях (1200–1600 м/с) удар сопровождается мощной вспышкой (рис. 1), образуются клубы белого дыма. Вторая и третья преграды оказываются сильно разрушенными (рис. 2) и отбрасываются в стороны на десятки метров, т. е. имеют место взрывоподобные процессы с большим газовыделением и фугасным действием. В смывах белого налета обнаруживается KCl ; следов перхлорат-иона нет.

Перхлорат аммония. Кинограммы и вид преград аналогичны $KClO_4$, взрывоподобные процессы начинаются при $u > 900$ м/с. При $u < 900$ м/с в смывах налета обнаруживаются ионы ClO_4 . При более высоких скоростях налет вообще отсутствует, однако через некоторое время на преградах появляются капельки жидкости, анализ которой показал наличие хлор-иона, вероятно, вследствие конденсации HCl — газообразного продукта разложения NH_4ClO_4 .

Нитрат свинца. Для этого окислителя характерно плавное увеличение степени разрушения 2-й и 3-й преград в диапазоне $u = 800 \div 1100$ м/с, в смыве присутствует нитрат-ион. При $u > 1200$ м/с на преградах появляется налет черного цвета (рис. 3), анализ которого показывает, что это свинец.

Двуокись свинца. Характер пробития преград аналогичен нитрату свинца. При скорости 800 м/с на второй и третьей преградах появляется налет свинца.

Пятиокись иода. Сильное разрушение 2-й и 3-й преград начинается уже при $u = 650$ м/с. Визуально отчетливо видно образование облака фиолетового цвета, что свидетельствует о выделении паров иода.

Полученные экспериментальные данные показывают, что имеются определенные критические скорости удара, выше которых наблюдается полное разложение окислителей на твердые и газообразные конечные продукты. Очевидна корреляция между уровнями критических скоростей и термостойкостью окислителей (температура разложения NH_4ClO_4

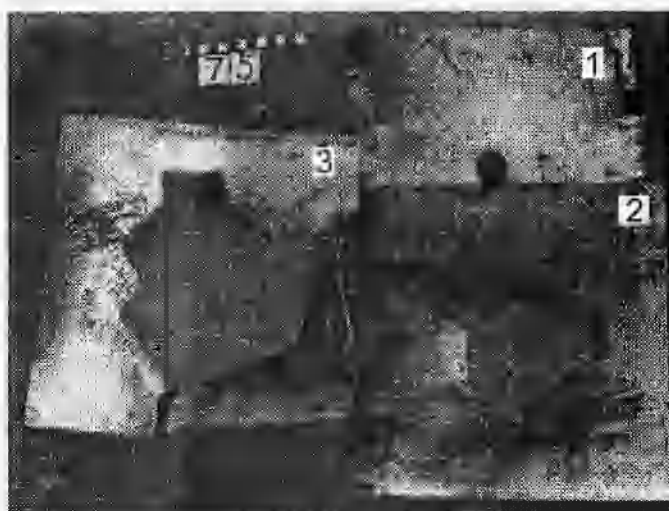


Рис. 2. Вид преград, пробитых элементом, содержащим перхлорат калия, $u_{уд} = 1400$ м/с

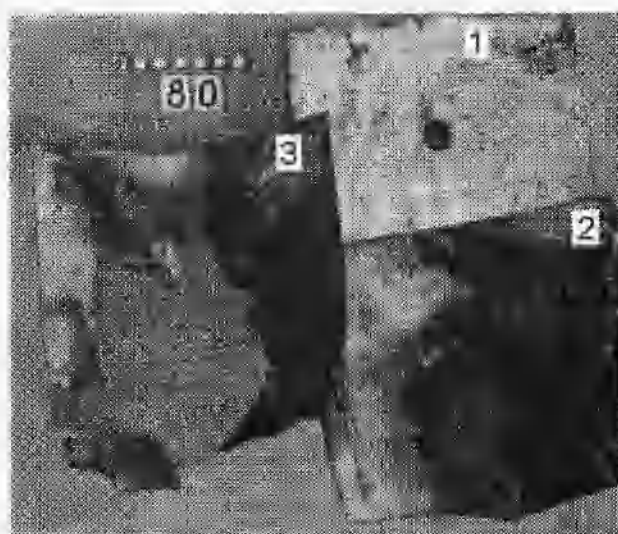


Рис. 3. Вид преград, пробитых элементом, содержащим нитрат свинца, $u_{уд} = 1300$ м/с

и $KClO_4$ $T_p = 403 \div 423$ и $648 \div 855$ К соответственно).

В процессе пробития преграды окислитель нагревается за счет ударного взаимодействия. Расчет остаточной температуры ударника, состоящего из металлического корпуса, заполненного окислителем, не представляется возможным, однако оценить его можно из следующих соображений. Остаточная температура в компактном металлическом теле, пробивающем тонкую преграду, достигает 50–400 К [2], что связано прежде всего с упруго-пластическими свойствами металлов. Спрессованные таблетки окислителей указанными свойствами не обладают. В них не могут развиваться значительные сдвиговые напряжения и, как следствие, высокие остаточные температуры. Следовательно, разложение окислителей происходит в запреградном факеле. В пользу высказанного предложения свидетельствует тот факт, что мощная вспышка возникает при достижении потоком осколков второй и третьей преград.

Появление налета чистого свинца в случае нитрата свинца несколько необычно, так как при термическом разложении кислородсодержащих солей чистые металлы практически не выделяются. Очевидно, это — результат реакции PbO (продукта разложения

нитрата) с материалом разрушаемого корпуса и преграды по известной из экспериментов с ампулами сохранения по схеме $PbO + Al \rightarrow Al_2O_3 + Pb$ [3]. Так как отверстие в 1-й преграде во всех случаях идеально круглое, то очевидно, что разложение окислителей начинается после выхода образцов в запреградное пространство. Расширение газов, нагреваемых реакциями на свежесформированных поверхностях Al, обеспечивает движение осколков корпусов в радиальных направлениях и поражение ими второй преграды на больших площадях.

Проведенные эксперименты показали, что в процессе пробивания тонких преград при скоростях выше определенного критического уровня происходит быстрое разложение окислителей. Наблюдаемые мощные взрывы с фугасным эффектом — следствие реакций газообразных продуктов разложения со свежесформированными (и поэтому химически активными) поверхностями осколков корпуса ударников и преграды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Загрязнение космического пространства // *Аэрокосм. техника*. 1989. № 1. С. 141–149.
2. Долгов А. А., Ильин В. В., Завилевский О. Г. и др. Дополнительное энерговыделение при высокоскоростном ударе // *Хим. физика*. 1993. Т. 12, № 5. С. 754–756.
3. Коваленко А. Н., Иванов Г. В. Физико-химические превращения нитрата свинца в смесях с алюминием под действием ударных волн // *Физика горения и взрыва*. 1981. Т. 17, № 4. С. 141–145.

Поступила в редакцию 26/1 1995 г.
