

СРОЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 531.66+532.525.6+539.537

О ВЫСОКОСКОРОСТНОМ УДАРНИКЕ КОЛЬЦЕВОЙ ФОРМЫ

А. А. Васильев, В. И. Лаптев

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, 630090 Новосибирск, gasdet@hydro.nsc.ru

Представлены результаты взаимодействия высокоскоростного стального ударника кольцевой формы с плоской стальной пластиной. На фронтальной стороне пластины формируется кольцевой кратер, а на тыльной — откол материала в виде сплошного квазидиска, диаметр которого почти вдвое превышает внешний диаметр кольцевого ударника. Это свидетельствует о большей опасности кольцевых ударников по сравнению со сплошными (при одинаковой скорости и внешнем диаметре).

Ключевые слова: высокоскоростной удар, кольцевой ударник, откол материала, безопасность космических объектов.

Хорошо известно (см., например, [1–3]), что при высокоскоростном ударе тела (ударника) по металлической преграде конечной толщины на лицевой стороне преграды образуется кратер, а на тыльной стороне преграды наблюдается «откол» материала преграды. При этом нарушается сплошность материала преграды в области взаимодействия с ударником. В условиях космического полета это может привести к разгерметизации корабля и гибели экипажа.

В данной работе представлены результаты экспериментов по воздействию ударников кольцевой формы на металлическую пластину. Схема эксперимента по ускорению ударника представлена на рис. 1: *а* — классическая постановка, *б* — модифицированная постановка.

Идея модифицированной постановки появилась после того, как было установлено, что эффективность пространственно распределенных инициаторов при инициировании детонации выше по сравнению с одиночным сосредоточенным зарядом при их одинаковой энергии [4]. На рис. 2 представлены результаты инициирования газовой детонации инициаторами кольцевой формы в зависимости от соотношения внутреннего (r) и внешнего (R) радиусов кольца. Область ниже горизонтальной штриховой линии соответствует большей эф-

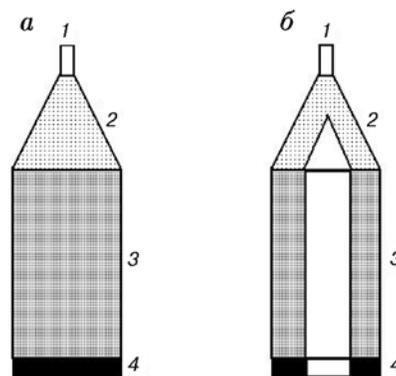


Рис. 1. Классическая схема метания сплошного ударника (*а*) и модифицированная для ударника кольцевой формы (*б*):

а: 1 — детонатор, 2 — генератор плоской волны, 3 — основной заряд для метания ударника, 4 — ударник в виде сплошного металлического диска; *б*: 1 — детонатор, 2 — генератор плоской волны с конической пустотной полостью, 3 — трубчатый заряд для метания ударника, 4 — ударник в виде металлического кольцевого диска

фективности кольцевого инициатора по сравнению со сплошным диском ($r/R = 0$). Как видно из рисунка, максимальный эффект для кольцевых инициаторов с внешним диаметром $2R = 30 \div 40$ мм достигается при $r/R \approx 0.7$ (для исследованных смесей ацетилен — кислород (воздух) — аргон). Данные соотношения использовались и для экспериментов по высо-

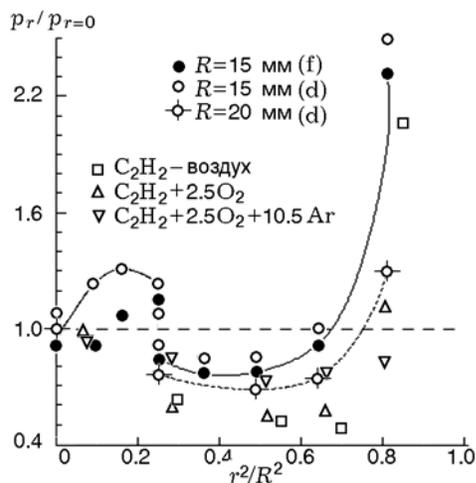


Рис. 2. Инициирование детонации кольцевыми инициаторами:

индексом f отмечено воспламенение смеси, d — возбуждение детонации

коскоростному соударению кольцевого ударника со стальной преградой.

На рис. 3 представлены фотографии передней и тыльной сторон преграды (разрез по диаметру) после ее взаимодействия с кольцевым ударником ($r = 12.5$ мм и $R = 20$ мм, $r/R \approx 0.6$), летящим со скоростью ≈ 1700 м/с (скорость измерялась по трем фотоснимкам, полученным при импульсном рентгенографировании ударника в полете). Внешний диаметр ударника не менялся — $2R = 40$ мм, внутренний диаметр варьировался (в том числе сплошной диск, $r = 0$), толщина — 4 мм, материал — сталь Ст3. В исходном состоянии расстояние от ударника до преграды составляло 30 см, в качестве преграды использовалась пластина из стали Ст20 толщиной 25 мм.

Наиболее изучено экспериментально и теоретически взаимодействие высокоскоростных частиц сферической формы с плоской преградой, в результате которого на лицевой стороне преграды образуется кратер, близкий по форме к полусфере [3]. Данных о взаимодействии плоских (и тем более кольцевых) ударников заметно меньше. Например, в работе [5] обсуждается взаимодействие с плоской преградой ударника в виде тонкого стакана (удар доньшком) и даже трубчатого ударника с внутренней сплошной перемычкой, а также ударника в виде пустотелой сферы, но основным при этом является вопрос о построении схем расчетных ячеек как для ударника, так и для

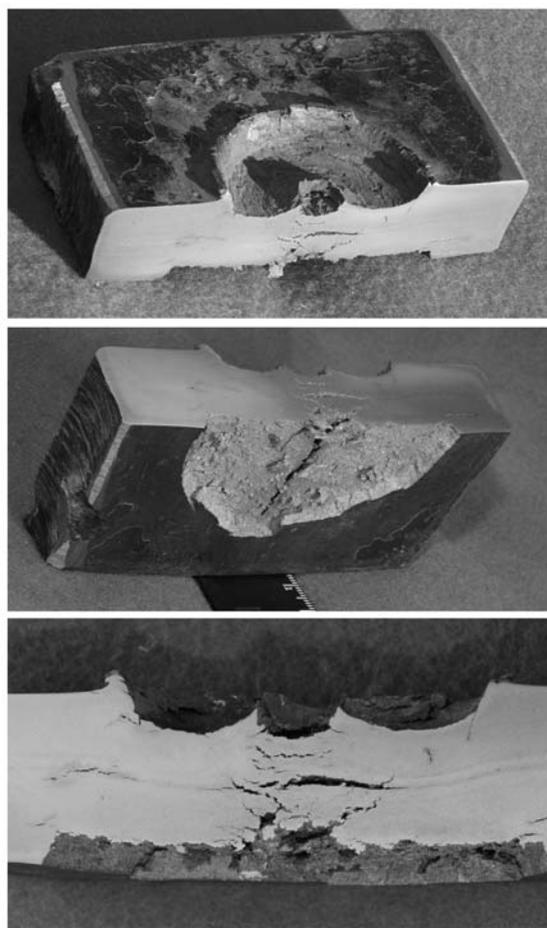


Рис. 3. Результат соударения кольцевого ударника с пластиной конечной толщины

плоской преграды. Какого-либо упоминания об экспериментальных данных в [5] не приведено.

На рис. 3 видно, что кольцевой ударник с внешним диаметром 40 мм и внутренним 25 мм создает на лицевой стороне преграды кольцевой кратер, внешний диаметр которого ≈ 55 мм, внутренний ≈ 12 мм, максимальная глубина ≈ 7 мм. Обращает на себя внимание образование холмообразного выступа на оси симметрии с последующим отрывом приосевой части расплавленного материала навстречу направлению кольцевого ударника. Размеры отколовшегося с тыльной стороны металла: диаметр ≈ 75 мм, толщина ≈ 4 мм, т. е. диаметр почти вдвое превышает исходный диаметр кольцевого ударника (а по массе — почти в 6 раз). Следует обратить внимание на многочисленные разрывы металла вблизи оси.

Проведенные эксперименты четко демонстрируют, что с точки зрения откольного эф-

фекта воздействие кольцевого ударника не уступает сплошному диску, а энергетические затраты (масса ВВ) на ускорение кольцевого ударника существенно ниже, чем для сплошного.

Численное моделирование соударения кольцевого ударника с плоской пластиной конечной толщины позволит прояснить сложную газодинамику волн сжатия и разрежения, возникающих как внутри преграды, так и при выходе их на тыльную сторону, а также выявить взаимосвязь между геометрическими и кинематическими характеристиками ударника и преграды и физико-механическими характеристиками их материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Станюкович К. П.** Неустановившиеся движения сплошной среды. — М.: Наука, 1971.
2. **Физика взрыва** / под ред. Л. П. Орленко. — М.: Физматлит, 2002. — Т. 2.
3. **Мержиевский Л. А., Титов В. М.** Высоко-скоростной удар // Физика горения и взрыва. — 1987. — Т. 23, № 5. — С. 92–108.
4. **Васильев А. А.** Инициирование газовой детонации при пространственном распределении источников // Физика горения и взрыва. — 1988. — Т. 24, № 2. — С. 118–124.
5. **Рини Т.** Численное моделирование явлений при высокоскоростном ударе // Высокоскоростные ударные явления. — М.: Мир, 1973. — С. 164–219.

Поступила в редакцию 3/III 2014 г.
