

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЗАРЯДОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОРМИРУЕМЫХ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

П.В. Круглов, В.И. Колпаков

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Для проникания в прочные преграды используются кумулятивные заряды, образующие высокоскоростные удлиненные элементы (ВУЭ), изменяющие свою геометрию в процессе полета [1,2]. Элемент образуется путем деформирования металлической сегментной облицовки, выполненной, как правило, из пластичной стали, меди или других металлов, в результате взрыва заряда [3,4]. Для устойчивости во время полета ему стараются придать такую форму, чтобы в хвостовой части сформировалась юбка, служащая стабилизатором [2-4]. В данной работе исследуются механизмы влияния конструктивных параметров облицовки на форму и устойчивость высокоскоростных удлиненных элементов путем математического моделирования взрывных процессов с использованием численных методов механики сплошной среды.

Рассмотрим конструкцию снарядоформирующего заряда. Снарядоформирующий заряд состоит из корпуса, заряда взрывчатого вещества, металлической облицовки, детонатора (рис.1). После взрыва металлическая облицовка меняет свою форму и, в зависимости от физико-механических, геометрических параметров заряда может принимать компактную или удлиненную (рис.2) форму.

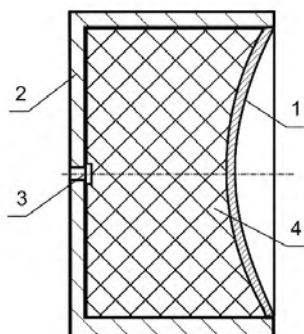


Рисунок 1. Схема снарядоформирующего заряда:

- 1 – облицовка,
- 2 – корпус,
- 3 – детонатор, 4 – ВВ



Рисунок 2. Функционирование снарядоформирующего заряда и получение высокоскоростного удлиненного элемента

Преимуществами удлиненной формы ВУЭ являются большая пробивная способность элемента по сравнению с компактным той же массы, меньшее сопротивление среды на этапе полета, что приводит к большей дальности полета элемента. Особенностью ВУЭ является большее по сравнению с компактным элементом, отношение длины элемента к диаметру, называемым удлинением элемента. К удлиненным относят высокоскоростные элементы с удлинением больше 2. Другой важной характеристикой высокоскоростного элемента является его наполненность. Чем больше наполненность элемента, тем больше его пробивное действие [1,2].

Изучением механизмов создания удлиненных элементов занимаются ученые разных стран [1,2], в том числе и России [1 – 6]. Как показывают результаты исследований, на форму высокоскоростного элемента оказывают влияние такие характеристики заряда как геометрические параметры корпуса и заряда взрывчатого вещества, физико-механические свойства материалов, из которых изготовлен корпус и облицовка, энергетические параметры взрывчатого вещества. Наибольшее влияние на форму и наполненность высокоскоростного удлиненного элемента

оказывают физико-механические свойства материала облицовки и ее геометрические параметры. Вместе с тем, в нашей стране отсутствуют методики, описывающие взаимосвязь между собой параметров облицовки и элемента. Изучению механизмов формирования высокоскоростного удлиненного элемента и выявлению зависимостей между формой элемента и облицовки посвящена данная работа. Поскольку проведение натурных экспериментов дороже вычислительных, авторами применялись методы математического моделирования функционирования снарядоформирующих зарядов на основе численных методов механики сплошных сред [1,3].

В настоящем исследовании были проведены вычислительные эксперименты, в которых использовалась модель кумулятивного заряда с сегментной стальной облицовкой [3,4]. В облицовке внутренняя и наружная поверхности описывались сферическими поверхностями. В различных вариантах расчетов изменялась разнотолщинность, т.е. толщина профиля облицовки вдоль радиального направления и динамический предел текучести материала облицовки γ_0 . Рассматривались три схемы облицовки: толщина профиля облицовки от центра к периферии принималась постоянной, уменьшалась (дегрессивная форма, рис. 4,а) или увеличивалась (прогрессивная форма, рис. 3,б).



Рисунок 3. Варианты облицовок снарядоформирующих зарядов: а) дегрессивная; б) прогрессивная; радиусы: R_1 –внутренней сферической поверхности; R_2 –наружной сферической поверхности; толщина облицовки: δ_1 – в центре; δ_2 –в периферийной области

Пределы варьирования физико-механических свойств материала облицовок приведены ниже. Расчеты были проведены для двух модельных СФЗ геометрически подобных типоразмеров, именуемых в дальнейшем СФЗ №1 и СФЗ №2.

СФЗ №1: диаметр заряда взрывчатого вещества (или внутренний диаметр корпуса) $d_3=62$ мм, высота $H = 50$ мм, толщина корпуса $d_k=3$ мм. Диаметр облицовки $d=d_3=62$ мм, прогиб облицовки – 10,45 мм. Использовали облицовки постоянной и переменной толщины. В первом случае толщина облицовки в центральной и периферийной частях составляла $\delta_1 = 2,5$ мм и $\delta_2= 3,1$ мм соответственно, во втором – $\delta_1 = 2,5$ мм и $\delta_2=2,2...2,8$ для дегрессивной формы кумулятивной облицовки и $\delta_1 = 2,5$ мм и $\delta_2= 3,3...4,0$ мм – для облицовок прогрессивной формы.

СФЗ №2: диаметр заряда взрывчатого вещества $d_3=125$ мм; высота $H = 100$ мм; толщина корпуса $d_k=6$ мм. Диаметр облицовки $d=31$ мм, прогиб облицовки – 20,88 мм. Так же, как и для СФЗ №1, использовали облицовки постоянной и переменной толщины. Здесь в первом случае толщина облицовки в центральной и периферийной частях составляла $\delta_1 = 5,0$ мм и $\delta_2= 6,2$ мм соответственно, во втором– $\delta_1 = 5,0$ мм и $\delta_2=4,5...6,1$ для дегрессивной формы кумулятивной облицовки и $\delta_1=5,0$ мм и $\delta_2=6,3...8,0$ мм – для облицовок прогрессивной формы.

В обоих зарядах СФЗ №1 и СФЗ №2 использовались материалы со следующими физико-механическими характеристиками [3, 4]:

облицовка –стали марок 08кп, 11кп, 11ЮА (плотность $\rho_0 = 7,85$ г/см³, модуль объемного сжатия $K_0 = 175$ ГПа, динамический предел текучести $\gamma_0= 0,65...0,75$ ГПа, модуль сдвига $G= 80$ ГПа,

откольная прочность $\sigma^* = 1,65$ ГПа, относительное сужение материала $\psi = 0,45 \dots 0,75$); корпус – сталь 45Х; ВВ – ТГ40 (плотность $\rho_{ВВ} = 1,68$ г/см³, скорость детонации $D_{ВВ} = 7,85$ км/с, теплота взрывчатого превращения $Q_{ВВ} = 4,61$ МДж/кг).

Для обоих зарядов применялось одноточечное инициирование.

Результаты расчетов обрабатывались так, что для каждого из высокоскоростных удлиненных элементов были получены удлинение элемента l^* , относительный диаметр юбки d_b^* и его наполненность w^* . Под относительным диаметром юбки d_b^* понимается отношение диаметра юбки к среднему диаметру головной части, а под наполненностью w^* – отношение массы полученного элемента к такому же, но полностью заполненному материалом в пределах наружного контура элемента.

На рис.4 приведен пример изменения формы высокоскоростного удлиненного элемента в зависимости от толщины облицовки на периферии. Видно, что при увеличении толщины периферии растет удлинение, но снижаются наполненность и относительный диаметр юбки.

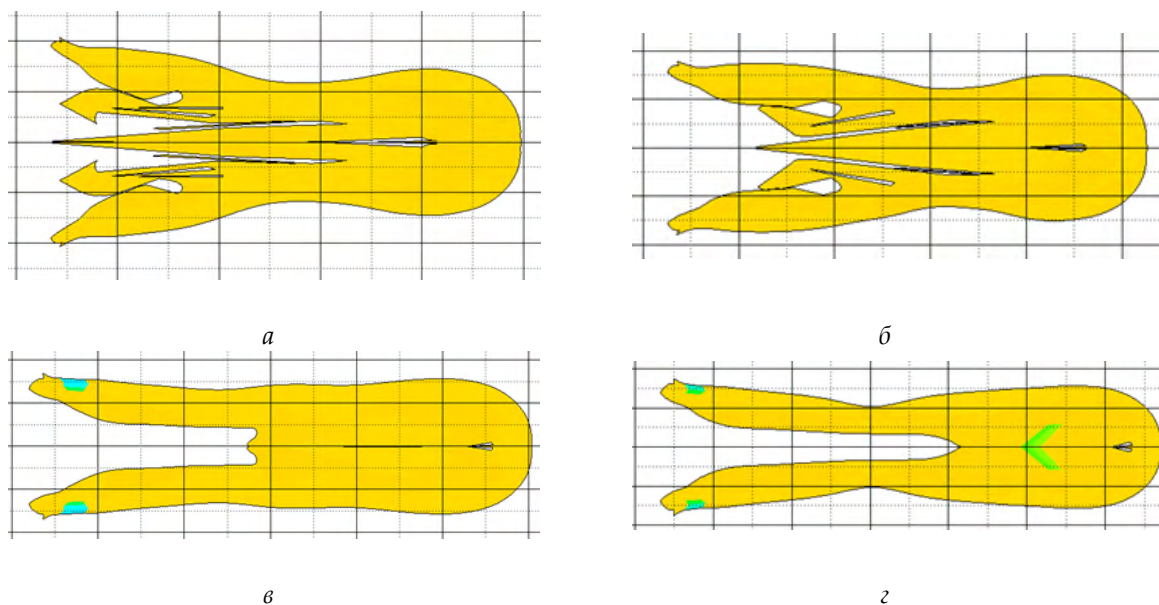


Рисунок 4. Форма высокоскоростного удлиненного элемента, получаемая из облицовки с толщиной: депрессивной $\delta_2=2,5$ мм (а), $\delta_2=2,7$ мм (б), постоянной $\delta_2=3,1$ мм (в), прогрессивной $\delta_2=3,3$ мм (з)

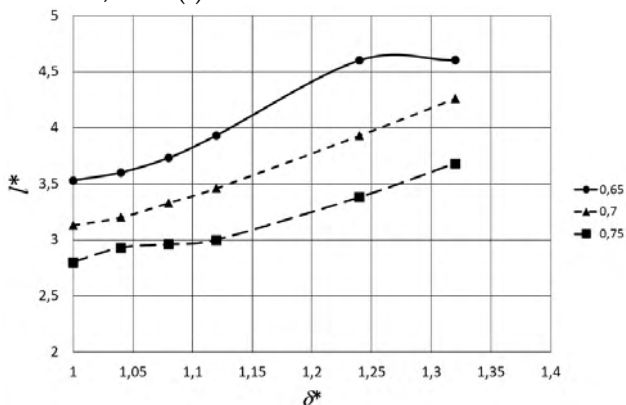


Рисунок 5. Зависимость удлинения l^* высокоскоростного элемента от относительной толщины периферийной области облицовки δ^* при различных значениях динамического предела текучести Y_0

На рисунке 5 представлены зависимости между удлинением элемента l^* и относительной толщиной на периферии δ^* , рассчитываемой как отношение толщины на периферии к толщине в

центре облицовки. Расчеты проводились на модели заряда СФЗ №1 при различных значениях динамического предела текучести γ_0 . Полученные данные показывают, что при снижении динамического предела текучести γ_0 удлинение элемента увеличивается. Удлинение элемента растет также и при увеличении относительной толщины периферийной области облицовки. Из рисунка видно, что для достижения удлинения более 4 единиц для данного заряда необходимо применение равнотолщинных или прогрессивных облицовок с динамическим пределом текучести не более 0,7 ГПа. При использовании облицовок дегрессивной формы с $\delta^* < 1,12$ получить элемент с удлинением более 4 единиц в данных условиях невозможно.

Увеличение относительной толщины облицовки на периферии δ^* приводит к снижению относительного диаметра юбки элемента d_b^* (рис.6). Кроме того, отмечено, что чем меньше динамический предел текучести материала облицовки, тем больше диаметр юбки элемента. Наполненность элемента также, как и диаметр юбки снижается при увеличении относительной толщины (рис.7) до достижения относительной толщины $\delta^* = 1.24$, соответствующей равнотолщинной облицовке. У элементов из облицовок прогрессивной формы относительный диаметр юбки больше, чем у элементов из равнотолщинных облицовок, что объясняется тем, что юбка элемента формируется из периферийных областей облицовки, где объем материала у облицовок прогрессивных форм больше, чем у облицовок равнотолщинных и дегрессивных форм.

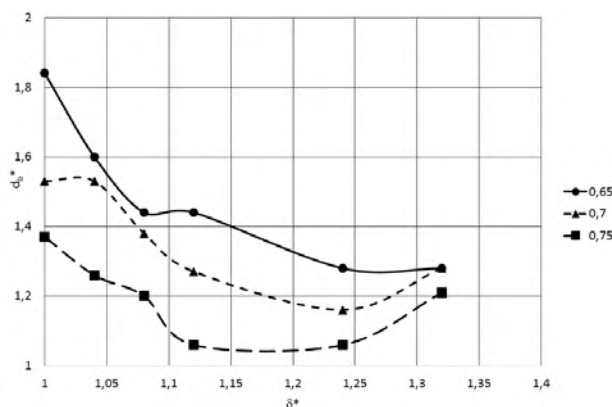


Рисунок 6. Зависимость относительного диаметра юбки d_b^* от относительной толщины периферийной области облицовки δ^* при различных значениях динамического предела текучести γ_0

Таким образом возникает неопределенность при выборе формы облицовки, поскольку для увеличения пробивной способности необходим рост удлинения и наполненности одновременно, а в данном случае изменение толщины облицовки на периферии приводит к изменению этих параметров в противоположные стороны.

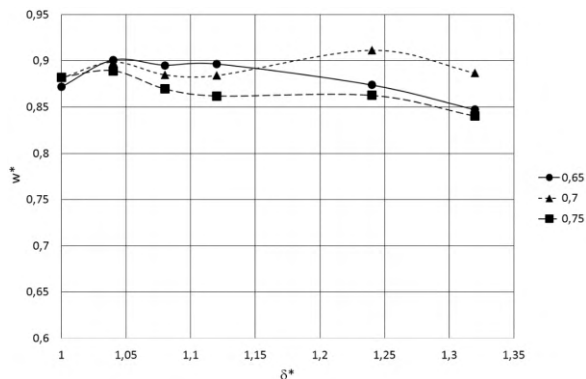


Рисунок 7. Зависимость наполненности элемента w^* от относительной толщины периферийной области облицовки δ^* при различных значениях динамического предела текучести γ_0

В то же время для повышения точности попадания в цель необходимо определенное увеличение диаметра юбки. Для выбора наилучшего варианта необходимы дополнительные исследования по сравнению точности попадания в цель и пробивной способности элементов с разным удлинением, наполненностью и диаметром юбки.

По предварительным оценкам, влияние наполненности элемента на пробивную способность сильнее, чем удлинения, поэтому более целесообразным является использование элементов с большей наполненностью и одновременно развитой юбкой, формирование которой позволит повысить точность попадания элементом в цель. Поэтому заряды с облицовками дегрессивной формы имеют преимущество перед зарядами с облицовками прогрессивной и равнотолщинной форм.

На основе результатов выполненных исследований получены графические зависимости изменения параметров формы высокоскоростного удлиненного элемента от разнотолщинности и физико-механических параметров материала облицовки снарядоформирующего заряда. Показано, что для облицовок дегрессивных форм, возможно формирование удлиненных высокоскоростных элементов с развитой хвостовой частью, что положительно сказывается на аэродинамической устойчивости элемента в процессе полета. Для зарядов с прогрессивными облицовками характерно получение более длинных, но слабонаполненных элементов, что негативно сказывается на их пробивной способности.

Список литературы

1. Колпаков В.И. Математическое моделирование функционирования взрывных устройств. Наука и образование, 2012, № 2. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/334177.html> (дата обращения 10.12.2016).
2. Боеприпасы. т.1, Селиванов В.В., ред. Москва, Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2016, 506 с.
3. Круглов П.В., Колпаков В.И. Закономерности взрывного формирования удлиненных высокоскоростных элементов из стальных сегментных облицовок. Инженерный журнал: наука и инновации, 2017, вып.12. С. 1-19 URL: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2017-12-1714>
4. Круглов П.В., Колпаков В.И. Анализ влияния разнотолщинности профиля металлических сегментных облицовок на форму высокоскоростных удлиненных элементов. Инженерный журнал: наука и инновации, 2018, вып.7. С. 1-10 URL: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2018-7-1782>.
5. Круглов П.В., Болотина И.А. Технология изготовления дисковых заготовок переменной толщины для компактных летательных аппаратов. Инженерный журнал: наука и инновации, 2017, вып.9. С. 1-11. URL:<http://dx.doi.org/10.18968/2308-6033-2017-9-1674>.
6. Круглов П.В., Болотина И.А. Применение ориентированных гиперграфов ограничений при проектировании технологии изготовления высокоточных конструкций // Инженерный журнал: наука и инновации. Электронное научно-техническое издание. 2016. №5. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2016-05-1494>.

БАЛЛИСТИЧЕСКИЙ ПРЕДЕЛ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ УДАРЕ О ТОНКУЮ МЕТАЛЛИЧЕСКУЮ ПРЕГРАДУ

А.М. Куся¹, В.А. Марков², Ю.В. Попов², В.И. Пусев², С.И. Сычев¹

¹ АО «Корпорация «ТРВ», Королёв, Московская обл., Россия

² Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

В работе используется квазидинамический подход к расчету ударно-проникающего действия. Тогда для недеформируемых (малодеформируемых) ударников оживально-цилиндрической