

УДК 519.63:539.5

**Математическое моделирование высокоскоростного
взаимодействия ударника диаметром 5.45 мм с преградами из
различных материалов**

Абросимова А.С., студент

*кафедра «Технологии ракетно-космического машиностроения»,
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Колпаков В.И., к.т.н., доцент
кафедра «Технологии ракетно-космического машиностроения»,
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
cm12@sm.bmstu.ru*

Современные СИБ постоянно совершенствуются в противовес развитию средств поражения и огнестрельного оружия. Вместе с тем постоянно выдвигаются новые требования к элементам СИБ, среди которых необходимо выделить тенденцию к использованию новых материалов с набором улучшенных защитных и эксплуатационных свойств, направленных на повышение эффективности защиты к проникающему ударному воздействию.

В соответствии с различной пробивной способностью пуль соответствующие СИБ должны обладать различной защитной способностью. На основании многолетних исследований поражающего действия различных пуль и способов индивидуальной бронезащиты от них боеприпасы стрелкового оружия и соответствующие им защитные структуры СИБ удалось разделить на классы.

Класс защитной структуры – показатель стойкости защитной структуры к воздействию средств поражения заданного вида.

Основными проблемами при проектировании средств индивидуальной защиты определённого класса являются ограничения по массе СИБ и их эргономичности. Проанализировав современные средства индивидуальной защиты, представленные в России и за рубежом, заметно стремление производителей к решению данных проблем. Тенденция отказа производителей от использования неэффективных стальных

бронепанелей в пользу керамико-композитных материалов показывает актуальность совершенствования СИБ.

Постановка задачи механики сплошной среды заключается в составлении замкнутой системы уравнений, которая описывает движение и состояние сплошной среды с учётом её физико-механических свойств, внешних силовых факторов и позволяет найти все функции, определяющие движение и состояние среды в зависимости от координат и времени.

Поставленная задача решалась численно в рамках модели идеальной упругопластической сплошной среды [1]. Следуя общему подходу к математическому моделированию процессов ударного взаимодействия твердых тел, считалось, что они сжимаемы и изотропны. Считалось также, что в них отсутствуют массовые силы, внутренние источники тепла и теплопроводность. В этом случае система исходных уравнений для описания деформации такой среды базируется на фундаментальных законах сохранения массы, импульса и энергии. Для ее замыкания используются уравнения состояния взаимодействующих тел; физические соотношения, конкретизирующие поведение упругопластической среды в форме Прандтля – Рейсса при наличии критерия пластичности Мизеса [1]; прочностной и деформационный критерии разрушения среды [2]. Начальные условия для взаимодействующих тел задавались исходя из того, что их материалы в момент начала движения не деформированы и не возмущены. Все индивидуальные частицы преграды находятся в покое, а индивидуальные точки ударника движутся с одинаковой начальной скоростью. Углы атаки и встречи ударника с преградой принимались равными нулю.

Граничные условия задачи задавались на участках поверхностей, ограничивающих деформируемые тела. При этом на свободных от действия внешних сил участках поверхностей ударника и преграды, нормальные и касательные составляющие напряжений считались равными нулю. На контактных поверхностях накладывались ограничения на скорость движения находящихся в контакте индивидуальных точек в соответствии с условием $V_{n1} = V_{n2}$, а также на напряженное состояние, реализующееся в этих точках в соответствии с третьим законом Ньютона $\sigma_{n1} = \sigma_{n2}$.

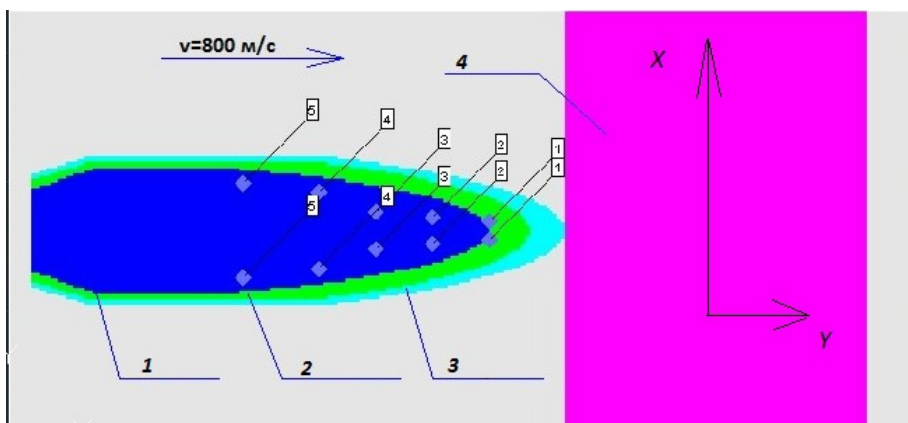


Рис. 1. Расчетная схема ударного взаимодействия: 1 – стальной сердечник, 2 – стальная капсула, 3 – свинцовая рубашка, 4 – преграда

В качестве материалов ударника (рис.1) рассматривались стали разной прочности для капсулы и сердечника и свинец для рубашки. Физико-механические свойства перечисленных материалов принимались следующими. Для стали – плотность $\rho_0 = 7.85 \text{ г/см}^3$, модуль объёмного сжатия $K = 175 \text{ ГПа}$, модуль сдвига $G = 80.8 \text{ ГПа}$, динамический предел текучести $Y = 1.1 \text{ ГПа}$ для сердечника (сталь 75) и $Y = 0.4 \text{ ГПа}$ для капсулы (сталь 3). Для свинца – $\rho_0 = 11.34 \text{ г/см}^3$, $K = 60 \text{ ГПа}$, $G = 6.2 \text{ ГПа}$, $Y = 0.03 \text{ ГПа}$.

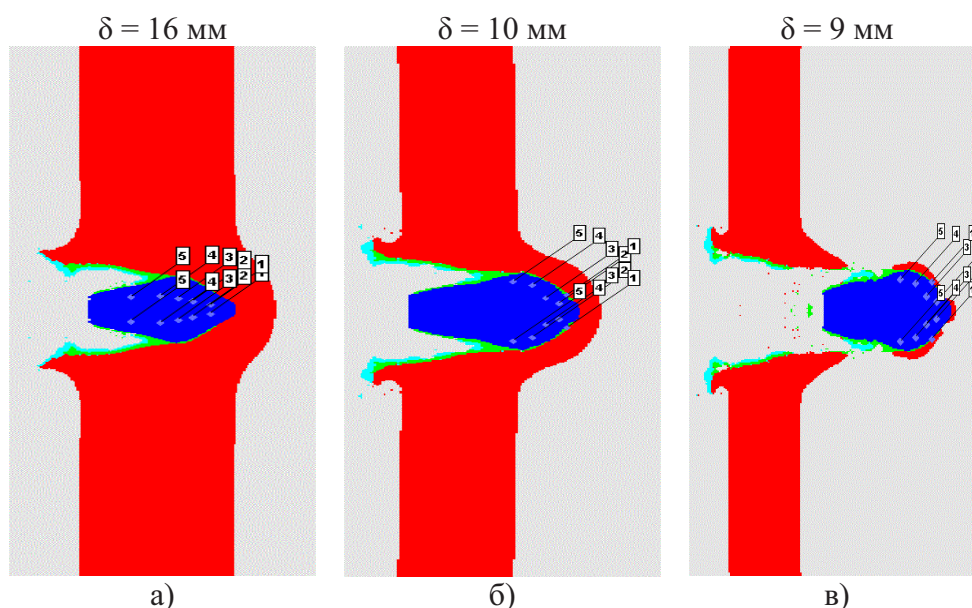


Рис. 2. Взаимодействие ударника со стальной преградой разной прочности:

а) $V_x = 0.8 \text{ км/с}$, $Y = 0.7 \text{ ГПа}$; б) $V_x = 0.8 \text{ км/с}$, $Y = 1.0 \text{ ГПа}$; в) $V_x = 0.8 \text{ км/с}$, $Y = 1.0 \text{ ГПа}$

На рис. 2 показаны результаты взаимодействия ударника со стальными преградами различной прочности и толщины. При этом рис. 2, а, б соответствует случаю непробития ударником, движущимся с начальной скоростью $V_x = 0.8 \text{ км/с}$, преграды из стали 3

толщиной 16 мм и 10 мм.. В то время как случай, показанный на рис.2,в, соответствуют пробитию преграды толщиной 9 мм ударником, движущимся со скоростью 0.8 км/с. При этом динамический предел текучести 16-мм плиты принимался равным $Y = 0.7$ ГПа, а 10-мм и 9-мм плиты $Y = 1.0$ ГПа. Предел прочности на растяжение для всех стальных преград считался одинаковым и принимался равным 1.65 ГПа.

Опираясь на полученные результаты математического моделирования взаимодействия ударника со стальными преградами, был сделан вывод о том, что возможности использования стальных элементов для СИБ ограничены из-за их большой массы. Так, например, масса первого стального элемента объемом 2560 см^3 , показанного на рис.2,а, — 20.1 кг, а масса второго элемента такой же площадью, но другой толщины, показанного на рис.2,б, — 12.56 кг. Что недопустимо. Поэтому в дальнейшем были рассмотрены многослойные элементы защиты из более лёгких материалов. В частности из 7.5-мм слоя оксидной керамики с 7.5-мм слоем кевлара и 5-мм слоем керамики с 10-мм слоем кевлара, использующего органопластиковые волокна ($\rho_0 = 1.45 \text{ г/см}^3$, $\sigma_p = 0.26 \text{ ГПа}$).

На рис.3 показаны результаты взаимодействия ударника с многослойными преградами из керамики и кевлара.

5-мм слой керамики и 10-мм слой кевлара 7.5-мм слой керамики и 7.5-мм слой кевлара

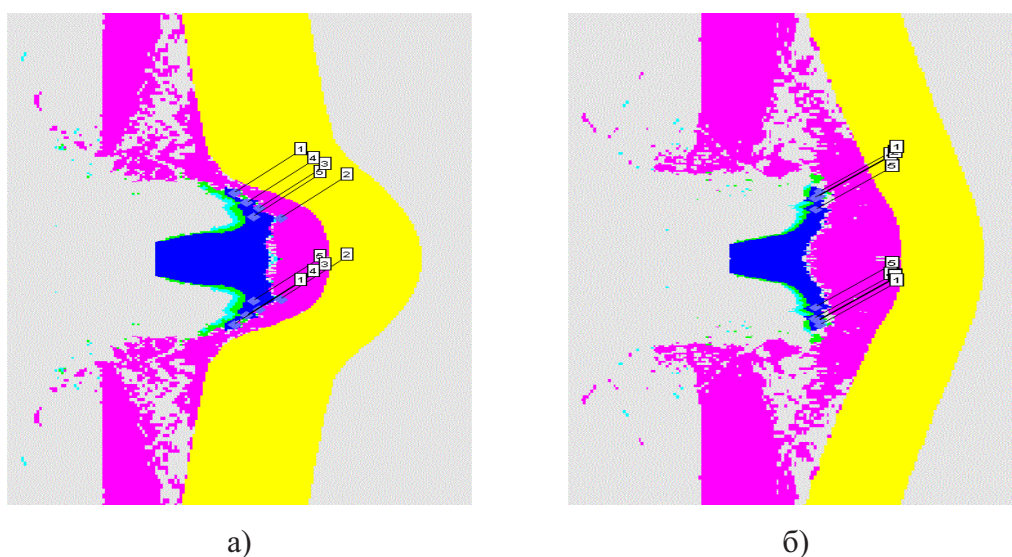


Рис. 3. Взаимодействие ударника с многослойной преградой состоящей из керамики ($\rho_0 = 3.9 \text{ г/см}^3$, $\sigma_p = 6.0 \text{ ГПа}$) и кевлара ($\rho_0 = 1.45 \text{ г/см}^3$, $\sigma_p = 0.3 \text{ ГПа}$)

Физико-механические параметры оксидной керамики принимались следующими: $\rho_0 = 3.9 \text{ г/см}^3$, $K = 225.6 \text{ ГПа}$, $G = 155.3 \text{ ГПа}$, $Y = 6.0 \text{ ГПа}$, $\sigma_p = 0.26 \text{ ГПа}$. В качестве математической модели кевлара использовалась модель идеальнупругопластического

мягкого тела со следующими параметрами: $\rho_0 = 1.45 \text{ г/см}^3$, $G = 59 \text{ ГПа}$, $Y = 0.3 \text{ ГПа}$. При этом предел прочности на разрыв принимался равным 6 ГПа.

Как видно из рис.3, из рассмотренных вариантов комбинированных преград наиболее удачным является сочетание 7.5-мм оксидной керамики (Al_2O_3) и 7.5-мм кевлара. При этом масса защитного элемента объемом 1200 см^3 равна 8.94 кг, что меньше массы стального элемента, хотя обладает идентичными защитными способностями.

Таким образом, по результатам выполненного расчётного исследования высокоскоростного взаимодействия ударника калибром 5.45 мм для АК-74, можно констатировать, что защитные возможности стальных элементов СИБ ограничены из-за их большой массы. Многослойные элементы из керамики и кевлара в рассмотренном диапазоне конструктивных параметров имеют значительно меньшую массу.

Список литературы

1. Численные методы в задачах физики взрыва и удара: Учебник для втузов. / А.В. Бабкин, [и др.]. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. Т.3. 516с.
2. Селиванов В.В. Механика разрушения деформируемого тела: Учебник для втузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. 420с.
3. Селиванов В.В., Колпаков В.И., Клименко А.В. Высокоскоростное взаимодействие фторопластсодержащих ударников с преградами из титанового и алюминиевого сплавов // Химическая физика. 2008. Том 27, №2. С.66-74.
4. Физические величины: Справочник / Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. М.: ЭНЕРГОИЗДАТ, 1991. 1232с.
5. Материалы и защитные структуры для локального и индивидуального бронирования / Под ред. В.А. Григоряна. М.: Изд. РадиоСофт, 2008. 406с.