УДК 539.42

А.В. Радченко, П.А. Радченко

Особенности разрушения разнесенных преград из анизотропного материала при ударе

A.V. Radchenko, P.A. Radchenko

Features of Fracture of the Spaced Targets from the Anisotropic Material under Impact

Рассмотрена задача нормального взаимодействия алюминиевого изотропного компактного цилиндрического ударника с ортотропными монолитными и разнесенными преградами в диапазоне скоростей удара от 750 до 3000 м/с. Изучено разрушение анизотропных преград, проведен сравнительный анализ эффективности их защитных свойств в зависимости от ориентации упругих и прочностных свойств.

Ключевые слова: анизотропия, прочность, упругость, разрушение, численное моделирование.

The paper considers the problem of normal interaction of the aluminum isotropic compact cylindrical projectile with orthotropic monolithic and spaced targets in a range of load velocities from 750m/s to 3000 m/s. Fracture of anisotropic targets is investigated, the comparative analysis of efficiency of their protective properties depending on orientation of elastic and strength properties of an anisotropic material is carried out.

Key words: anisotropy, strength, elasticity, fracture, numerical modeling.

Введение. Современные технологии получения материалов позволяют оптимизировать прочностные параметры конструкции для работы в определенных режимах внешних воздействий. Такая оптимизация может быть произведена либо благодаря сообщению структуре материала упорядоченности, либо благодаря армированию материала упрочняющими элементами. После такой компоновки материал, как правило, приобретает высокую степень анизотропии. Применение анизотропных материалов в конструкциях, испытывающих ударноволновые нагрузки, позволяет за счет оптимизации ориентации упругих и прочностных свойств материала по отношению к внешнему воздействию повышать эксплуатационные характеристики конструкции [1, 2]. Помимо оптимизации свойств материала, также используются различные подходы, связанные с конструктивными решениями. Например, для защиты конструкций от ударного воздействия широко используются разнесенные преграды.

Основные уравнения математической модели. Поведение алюминиевого изотропного цилиндра при высокоскоростном ударе описывается упругопластической средой, в которой связь между компонентами тензора скоростей деформации и компонентами девиатора напряжений определяется соотношениями Прандтля-Рейса. Шаровая часть тензора напряжений (давление) рассчитывалась по уравнению Ми-Грюнайзена как функция удельной внутренней энергии и плотности.

Поведение анизотропного материала преград описывается в рамках упруго-хрупкой модели [1, 3]. До разрушения компоненты тензора напряжений в материале преграды определялись из соотношений обобщенного закона Гука, записанного в терминах скоростей деформаций. Разрушение анизотропного материала описывается в рамках модели [1, 3] с использованием критерия разрушения Цая-Ву [4] с различными пределами прочности на сжатие и растяжение. Предполагается, что разрушение анизотропных материалов в условиях интенсивных динамических нагрузок происходит следующим образом [1, 3]: если критерий прочности нарушается в условиях сжатия ($e_{kk} \le 0$), то материал теряет анизотропные свойства, а его поведение описывается гидродинамической моделью, при этом материал сохраняет прочность только на сжатие, а тензор напряжений становится в этом случае шаровым ($\sigma_{ij} = -P$); если критерий нарушается в условиях растяжения ($e_{kk} > 0$), то материал считается полностью разрушенным, и компоненты тензора напряжений полагаются равными нулю ($\sigma_{ij} = 0$).

Постановка задачи. Рассматривается трехмерная задача высокоскоростного взаимодействия компактного (диаметр ударника, равный его высоте, составляет 15 мм) цилиндрического ударника с монолитной и разнесенными преградами. Толщина монолитной преграды 40 мм, суммарная толщина двух- и трехслойной разнесенных преград равна толщине монолитной преграды. Материал ударника – изотропный алюминий, материал преград – ортотропный органопластик [4]. Исследован диапазон начальных скоростей ударника от 750 до 3000 м/с. Угол встречи (угол между нормалью

к преграде и продольной осью ударника) составлял $\alpha = 0°$.

Обсуждение результатов. На рисунках 1–2 представлены расчетные конфигурации алюминиевого ударника, монолитной и трехслойной разнесенной преград из анизотропного органопластика для скоростей удара 750 и 2000 м/с соответственно. Как на рисунке 1, так и на рисунке 2 слева представлены преграды из исходного материала, а справа – из переориентированного. Градациями серого цвета показаны значения относительного объема разрушений, приведенного к узлам преград. В конечном итоге динамика развития разрушений в преграде и определяет эффективность ее защитных свойств. Развитие разрушения в преградах будет зависеть не только от значения прочностных характеристик материала, но и от скоростей распространения волн сжатия и разгрузки.

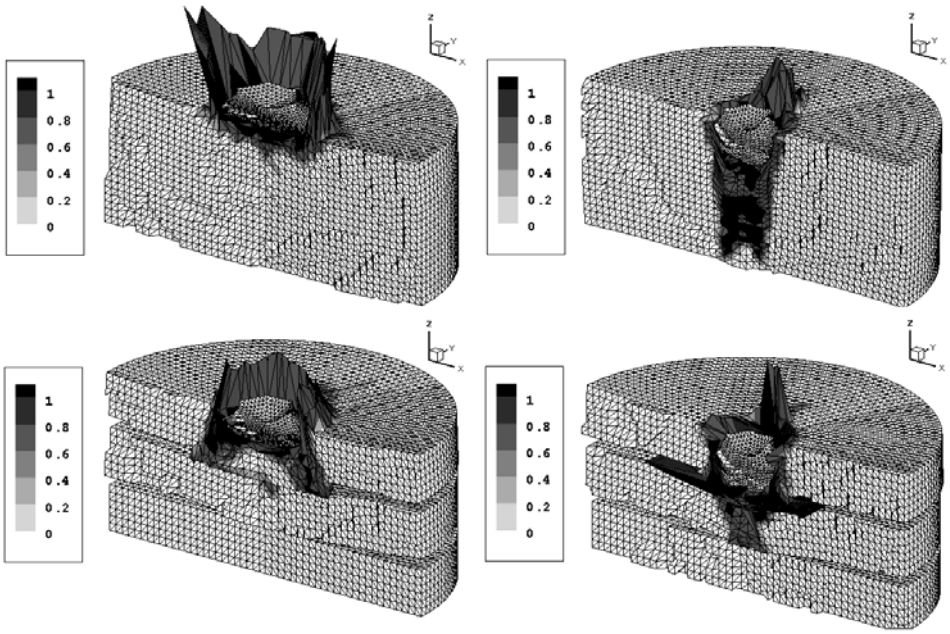

Рис. 1. Конфигурация взаимодействующих тел для t = 30 мкс, υ = 750 м/с

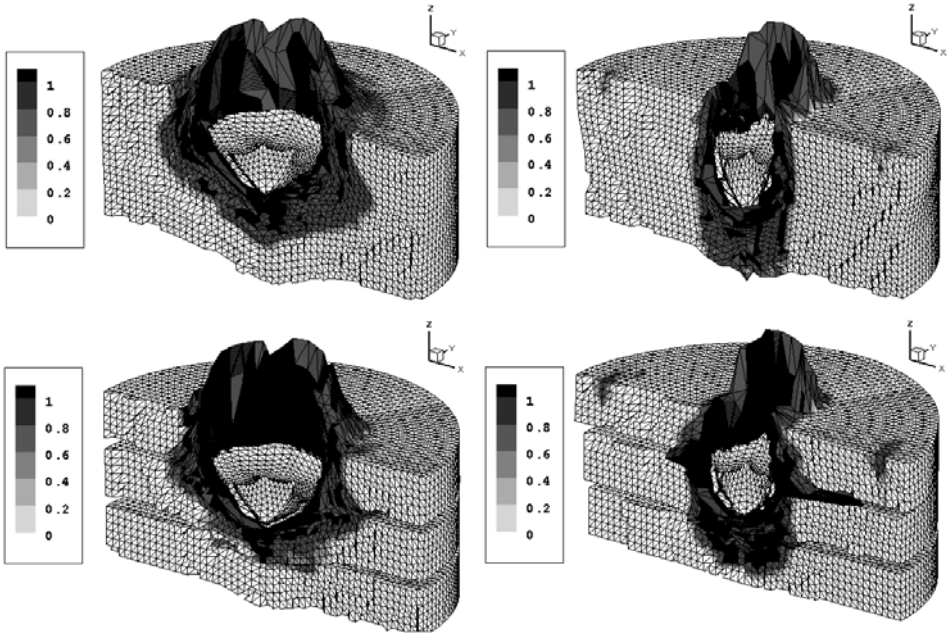

Рис. 2. Конфигурация взаимодействующих тел для t = 30 мкс, υ = 2000 м/с

Разрушение, происходящее в волне сжатия в преградах из переориентированного материала (рис. 1; 2, справа), за счет большей скорости распространения волн в направлении удара (ось Z) и меньшего значения предела прочности на сжатие в этом направлении распространяется на большую глубину по толщине преграды. Волны разгрузки, распространяющиеся со свободных поверхностей, достигая областей, где материал был разрушен при сжатии, полностью разрушают уже ослабленный (т.е. сопротивляющийся только сжатию) материал. В этом случае ударник имеет перед собой протяженную область разрушенного ($\sigma_{ij} = 0$) материала, не оказывающего сопротивления внедрению ударника. В преградах из исходного материала (рис. 1; 2, слева) картина иная: области разрушения, реализующиеся в волне сжатия, имеют более протяженные размеры в направлениях, перпендикулярных направлению удара. Перед ударником сохраняется область неразрушенного материала, обеспечивающая большее сопротивление внедрению ударника.

Заключение. Проведен сравнительный анализ эффективности защитных свойств монолитных и разнесенных преград из анизотропных материалов для различных случаев ориентации свойств материала. Установлено, что эффективность разнесенных конструкций возрастает с увеличением скорости взаимодействия и определяется динамикой развития разрушения в преградах, зависящей от скоростей распространения волн и ориентации упругих и прочностных свойств анизотропного материала к направлению удара.

Библиографический список

1. Радченко А.В., Кобенко С.В. Зависимость разрушения анизотропного материала от ориентации упругих и прочностных свойств при ударе // ДАН. – 2000. – Т. 373, №4.

2. Радченко А.В., Кривошеина М.Н., Кобенко С.В., Марценюк И.Н. Влияние анизотропии свойств оболочки на инициирование детонации в твердом топливе при ударных и импульсных нагрузках // Химическая физика. – 2001. – Т. 20, №6.

3. Радченко А.В. Моделирование поведения анизотропных материалов при ударе // Механика композиционных материалов и конструкций. – 1998. – Т. 4, №4.

4. Ву Э.М. Феноменологические критерии разрушения анизотропных сред // Механика композиционных материалов. – М., 1985.

5. Ашкенази Е.К., Ганов Э.В. Анизотропия конструкционных материалов: справочник. – Л., 1980.