

УДК 539.42

*П.А. Радченко, А.В. Радченко***Влияние ориентации механических свойств на разрушение анизотропных материалов при динамическом нагружении***P.A. Radchenko, A.V. Radchenko***Influence of Orientation of Mechanical Properties on Fracture of Anisotropic Materials at Dynamic Loads**

Решается задача нормального взаимодействия стального изотропного компактного цилиндрического ударника с ортотропной пластиной на пределе пробития в диапазоне скоростей удара от 50 до 400 м/с. Исследовано разрушение преград, проведен сравнительный анализ эффективности их защитных свойств в зависимости от ориентации упругих и прочностных свойств анизотропного материала.

Ключевые слова: анизотропия, динамическое нагружение, разрушение.

Введение. Реакции изотропного и анизотропно-го материалов на внешнюю нагрузку имеют существенные количественные и качественные различия. Причем, если при статических нагрузках данные различия обусловлены тем, что в анизотропном материале от направления зависят такие характеристики материала, как модули упругости и прочностные параметры, то при динамических нагрузках дополнительным фактором будет являться зависимость от направления скорости распространения волн напряжений.

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

Поведение анизотропного материала преграды описывается в рамках упруго-хрупкой модели [1]. 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] с использованием критерия разрушения Цая-Ву [2] с различными пределами прочности на сжатие и растяжение. Предположения о разрушении анизотропных материалов в условиях интенсивных динамических нагрузок представлены ранее [3].

The problem of normal interaction of the steel isotropic compact cylindrical drummer with the orthotropic plate on a limit of penetration is solved in a range of impact velocities from 50 m/s to 400 m/s. Fracture of 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, dynamic loading, fracture.

Постановка задачи. Рассматривается трехмерная задача ударного взаимодействия компактного (диаметр ударника, равный его высоте, составляет 15 мм) цилиндрического ударника с преградой. Толщина преграды – 15 мм, диаметр – 60 мм. Материал ударника – изотропная сталь марки Сталь 3, материал преграды – ортотропный органопластик [4]. Ориентация свойств ортотропного материала изменяется путем поворота осей симметрии исходного материала вокруг оси ОУ на угол $\beta = 90^\circ$, в дальнейшем будем называть этот материал переориентированным.

Обсуждение результатов. На рисунках 1–2 представлены конфигурации ударника и преград с распределением изолиний относительного объема разрушений для различных скоростей взаимодействия в момент времени $t = 40$ мкс. Слева от оси симметрии даны конфигурации для исходной ориентации материала преграды, справа – для переориентированного материала.

Для случая начальной ориентации свойств органопластика при скорости 50 м/с (рис. 1а) на лицевой поверхности преграды по периметру ударника и на контактной поверхности в центре преграды формируются конические зоны разрушения, ориентированные под углом 45° к направлению удара. Эти зоны возникают в начальный период взаимодействия за счет действия растягивающих напряжений в волнах разгрузки, распространяющихся с лицевой поверхности преграды и боковой поверхности ударника. Дальнейшее развитие этих зон разрушения обусловлено действием растягивающих напряжений в результате внедрения ударника. При начальной скоро-

сти 50 м/с нет сквозного пробития преграды. К 30 мкс скорость ударника падает до нуля и наблюдается отскок ударника от преграды. В случае переориентированного материала (рис. 1а) картина развития разрушения качественно иная. В этом случае прочность материала на сжатие в направлении оси Z (направление удара) минимальна. Это приводит

к тому, что материал разрушается в волне сжатия, формирующейся в момент удара и распространяющейся по толщине преграды. Внедрение ударника при этом происходит в уже ослабленный материал. Хотя сквозного пробития в данном случае также нет, ударник проникает на большую глубину, и полное его торможение наблюдается в 50 мкс.

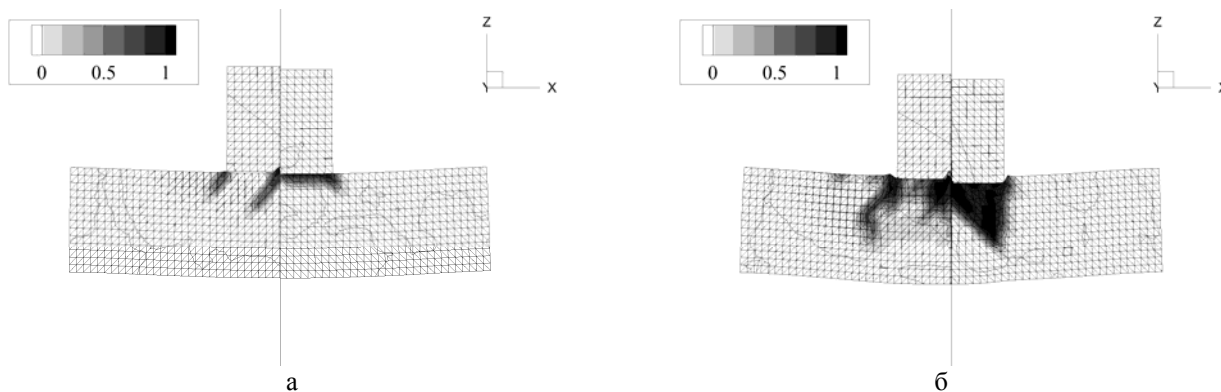


Рис. 1. Распределение относительного объема разрушений при $t = 40$ мкс: а – $v = 50$ м/с; б – $v = 100$ м/с

С увеличением скорости удара растет объем областей разрушения. При скорости 100 м/с (рис. 1б) области разрушения распространяются на большую глубину по толщине преграды. Причем для исходного материала преграды выраженную ориентацию (45°) сохранила только трещина, распространяющаяся с лицевой поверхности по периметру ударника. Трещина, расположенная вблизи оси симметрии, уже не идентифицируется. Это вызвано тем, что с увеличением скорости удара растет амплитуда волны сжатия – ее величина уже достаточна для

разрушения материала в верхней половине преграды.

В случае переориентированного материала волна разгрузки, распространяющаяся от тыльной поверхности преграды, понижает уровень сжимающих напряжений, что приводит к меньшему распространению области разрушения по толщине вблизи оси симметрии (рис. 1б). Для скорости 100 м/с также не наблюдается сквозного пробития преград, при этом в случае исходного материала скорость ударника до нуля падает к 45 мкс, в случае переориентированного материала – к 60 мкс.

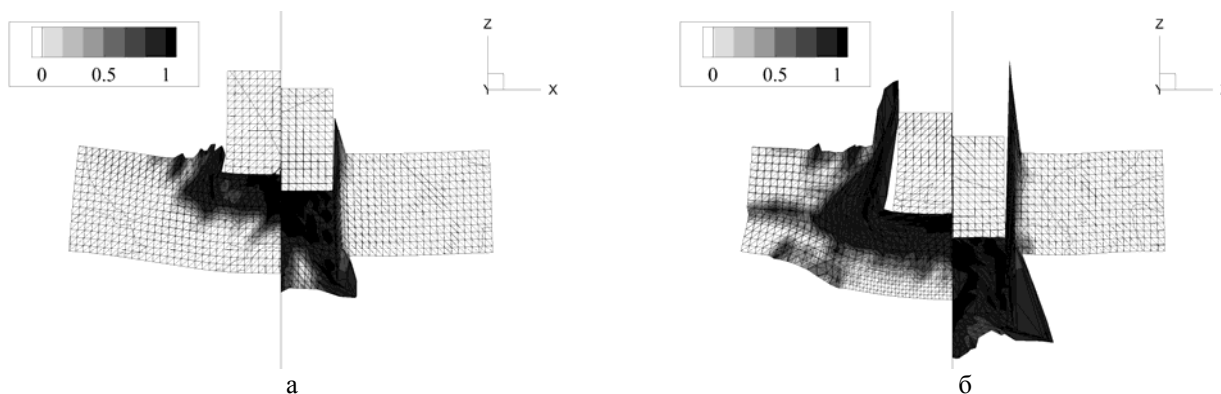


Рис. 2. Распределение относительного объема разрушений при $t = 40$ мкс: а – $v = 200$ м/с; б – $v = 400$ м/с

Для скоростей удара 200 м/с и выше (рис. 2) уже наблюдается сквозное пробитие преград из обоих типов материалов. Но при этом пластина из исходного материала оказывает большее сопротивление внедрению ударника по сравнению с пластиной из переориентированного материала. Например, при начальных скоростях 200 м/с (рис. 2а) и 400 м/с (рис. 2б) запреградная скорость ударника после

пробития пластин из исходного материала составляет 37 и 187 м/с соответственно, а запреградная скорость после пробития пластин из переориентированного материала 125 и 300 м/с. Более высокое сопротивление внедрению ударника пластин из исходного материала обусловлено различной картиной разрушения, которая определяется ориентацией упругих и прочностных свойств по отношению к внеш-

ней нагрузке. Для скоростей удара свыше 200 м/с наблюдается разрушение переориентированного материала в волне разгрузки, распространяющейся с тыльной поверхности преграды (рис. 2), что увеличивает объем разрушенного материала перед ударником, существенно снижая сопротивление внедрению. Такая динамика разрушения объясняется различными скоростями распространения волн в исходном и переориентированном материалах.

Заключение. Проведен количественный и качественный анализ разрушения анизотропных пластин

конечной толщины при динамическом нагружении. Установлено, что формирование и направление развития зон разрушения в преграде определяются ориентацией упругих и прочностных свойств анизотропного материала по отношению к направлению удара. В зависимости от ориентации свойств возможно развитие конических трещин, обусловленных комбинированным действием растягивающих напряжений в волнах с разгрузки и за счет внедрения ударника, либо разрушение материала в волне сжатия и разгрузки.

Библиографический список

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

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

3. Radchenko A.V., Radchenko P.A. Numerical modeling of development of fracture in anisotropic composite materials at low-velocity loading // Journal of Materials Science. – 2010. – Vol. 46, №8.

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