

УДК 539.3

ВИДЫ ТРАЕКТОРИЙ ДЕФОРМАЦИИ В АНИЗОТРОПНЫХ ПРЕГРАДАХ ПРИ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ

© 2011 г.

М.А. Козлова¹, И.Ю. Коньшева²

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск

²Томский политехнический университет

Kozlova_ma@mail.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Рассмотрены виды траекторий деформации, возникающие в анизотропном материале преграды, на примере сплава Д16Т при ударном нагружении. Расчеты выполнены в трехмерной постановке методом конечных элементов. Показана связь изломов траекторий деформации в различных точках преграды с волновой картиной деформирования.

Ключевые слова: численное моделирование, анизотропия, упругость, пластичность, динамическое нагружение, траектории деформации.

Введение

При моделировании процессов динамического нагружения материалов для описания пластического деформирования традиционно используется теория течения, одним из условий применения которой является нормальность вектора приращения пластической деформации к поверхности нагружения. Согласно экспериментальным данным [1], для анизотропных алюминиевых сплавов при нагружении по двух- и трехзвенным траекториям в пространстве напряжений во время деформации по траекториям малой кривизны установлено: мгновенное значение угла между вектором напряжений и касательной к траектории деформации равно углу между указанным вектором напряжений и траекторией деформации в случае простого нагружения; то есть при моделировании упругопластического деформирования анизотропных сред с помощью теории течения необходимо выполнение условия нахождения траекторий деформации в рамках малой кривизны (кроме случаев простого нагружения). Независимость классификации процессов нагружения от времени позволяет применять теорию процессов к моделированию как статического, так и динамического нагружения среды. Типичными процессами малой кривизны являются процессы пластического формоизменения со сколь угодно сильным упрочнением металлов и сплавов при их обработке давлением [2].

Цель исследования – определение видов траекторий деформации, возникающих в различных точках преграды из анизотропного материала, для

определения границ применимости теории течения при моделировании упругопластического деформирования анизотропных преград.

Постановка задачи

Численно моделируется в трехмерной постановке совместное деформирование изотропного стального ударника цилиндрической формы и транслопной алюминиевой преграды. На контактной поверхности ударника и преграды реализовано условие скольжения без трения [3]. На рис. 1 изображена начальная конфигурация ударника и преграды. Сечение ударника и преграды в плоскости XOY , где A, B, C, D, E – места расположения точек, для которых определены траектории деформации.

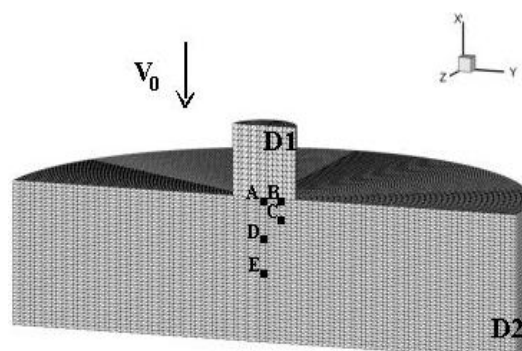


Рис. 1

Материал ударника – изотропный, Ст.3, упругопластическое течение материала ударника описывается моделью Прандтля–Рейсса с использованием условия пластичности Мизеса. Предел

текучности стали составляет 1 ГПа. Расчеты проводились методом конечных элементов. Расчетные области преграды и ударника разбивались на тетраэдры. Суммарное количество узлов в расчетной области приблизительно равно 3 млн. Время процесса нагружения преграды равно 5 мкс.

Кривые траектории деформации в преграде соответствуют данному интервалу времени ударного нагружения при начальной скорости ударников 600 м/с. Представлены траектории деформации в плоскости OE_1E_2 пятимерного пространства Ильюшина для каждой точки на рис. 1. Во всех расчетах использовали ударники цилиндрической формы с одинаковой массой, но с разными диаметрами $d_1 = 15$ мм (компактный) и $d_2 = 30$ мм (дискообразный).

Результаты расчетов

Для ударников обоих видов излом траектории деформации возникает уже в момент времени 0.3 мкс, уровень достигнутой при этом деформации в направлении удара зависит от кинематических условий нагружения. В зоне преграды под ударником имеем траектории малой кривизны до 10% деформации. Для точек преграды, находящихся на глубине 10 мм под контактной поверхностью, для случая нагружения дискообразным ударником траектории деформации можно классифицировать как траектории большой кривизны, уровень достигнутой деформации достигает 9.5%. Для случая нагружения компактным ударником траектории деформации вдоль оси OX достигают меньших значений – 4.5–6.5%, но имеют большие радиусы кривизны. Это обусловлено тем, что по мере удаления от места приложения нагрузки уровень деформаций снижается, а путь деформирования, в пределах которого происходит возврат функции интенсивности напряжений на кривую текучести, является константой материала. Для точек преграды, не находящихся под ударником, траектории деформации не имеют изломов.

На рис. 2 показана зависимость деформации в преграде в направлении удара в точке A при нагружении деформируемым и недеформируемым ударником от времени. Этот рисунок демонстрирует, что учет волновой картины деформирования в ударнике оказывает влияние на уровень достигаемых деформаций в преграде.

Если учитывать деформирование ударника, то зависимость деформации от времени в преграде в направлении оси OX достигает меньших значений. Границы области, в точках которой траектории деформации можно классифицировать как траектории малой кривизны, необходимо опреде-

лять с учетом волновой картины деформирования ударника и преграды. При нагружении дискообразным ударником формируется волна сжатия, близкая к плоской волне, поэтому в зоне под ударником волна разгрузки догоняет волну сжатия позже (см. рис. 2). Использование дискообразных ударников позволяет установить зависимость между возникновением изломов на кривой траектории деформации и волновой картиной деформирования в преграде. Время возникновения второго изгиба на траектории деформации связано с прохождением волны разгрузки через точку.

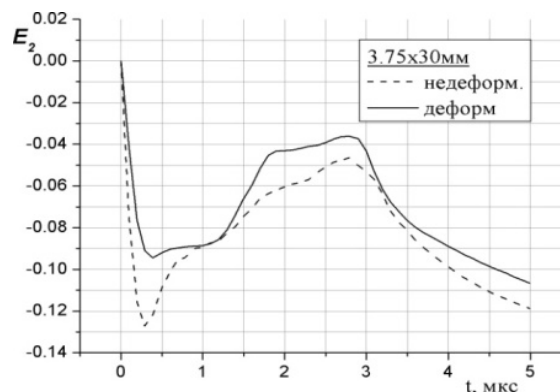


Рис. 2

С увеличением скорости ударного нагружения вид траекторий деформации в преграде под ударником можно классифицировать как траектории с изломами. Однако закономерно предположить, что они будут соответствовать уровню деформаций, превышающих пластические.

Выводы

1. Численное моделирование ударного нагружения преграды из анизотропного материала позволило классифицировать виды траекторий деформации как траектории деформации с изломами, причем первый излом соответствует уровню достигнутых деформаций, превышающих пластические (для области преграды под ударником).
2. Излом траекторий деформации в зоне преграды под контактной поверхностью возникает в результате прохождения волны сжатия в момент спада напряжения.

Работа выполнена по проекту 3.20.1.2 программы фундаментальных исследований СО РАН, по программе Президиума РАН, проект 12.4.

Список литературы

1. Косарчук В.В., Ковальчук Б.И. К формулировке закона запаздывания векторных свойств начально анизотропных материалов // Пробл. прочности. 1986.

№11. С. 3–6.

2. Ильюшин А.А. Пластичность. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 271 с.

3. Кривошеина М.Н., Конышева И.Ю., Коз-

лова М.А. Разрушение и упругопластическое деформирование анизотропных материалов при динамическом нагружении // Механика композиционных материалов и конструкций. 2006. Т. 12, №4. С. 502–512.

TYPES OF STRAIN PATHS IN ANISOTROPIC OBSTACLES UNDER SHOCK LOADING

M.A. Kozlova, I.Y. Konisheva

Types of strain paths occurring in an anisotropic material of an obstacle under shock loading is studied, taking alloy D16T as an example. Calculations have been made in a three-dimensional formulation using the finite-element method. The relation between the sharp bends of strain paths in various points of the obstacles and the wave pattern of straining has been shown.

Keywords: numerical simulation, anisotropy, elasticity, plasticity, dynamic loading, strain path.