**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЧНОСТИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАЗРУШЕНИЯ АНИЗОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛОВ[[1]](#footnote-1)**

**Кривошеина М.Н.1,Туч Е.В.1, Радченко П.А.1, Кобенко С.В.2**

***1Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск,***

***2Нижневартовский государственный гуманитарный университет, г. Нижневартовск***

В работе проведено сравнение результатов численного моделирования деформирования и разрушения преград из материалов, имеющих высокую степень анизотропии, при динамических нагрузках. Численное моделирование деформирования и разрушения материалов преград осуществлялось с использованием различных критериев прочности: критерия Цая-Ву, Хоффмана, Ашкенази, Мизеса-Хилла. Приведен сравнительный анализ итоговых картин разрушения ортотропных материалов с использованием в различных комбинациях следующих характеристик прочности: значения прочности материала при сжатии и растяжении, значения прочности материала при сжатии под углом 45° относительно осей симметрии материала, а также данных, полученных при двухосном нагружении материала. Целью данной работы является исследование влияния применения различных механических характеристик разрушения анизотропных материалов в критериях прочности на результаты численного моделирования деформирования и разрушения анизотропных преград при ударном нагружении. В качестве численного метода используется метод конечных элементов, модифицированный Г. Р. Джонсоном для задач удара [1].

Используемые критерии разрушения сформулированы в рамках феноменологического подхода и позволяют изучить влияние нагружения на начало разрушения материала. При выборе критериев разрушения анизотропных материалов использовались критерии разрушения, являющиеся обобщениями соответствующих критериев для изотропных материалов (например, критерий Мизеса-Хилла, Хоффмана) и критерии разрушения (Цая-Ву, Ашкенази), сформулированные для анизотропных материалов. В работе анализируется влияние учета различных прочностных характеристик на результаты численного моделирования разрушения материала преграды при увеличении скорости ударного нагружения.

Рассматривается деформирование преград из ортотропного материала, оси анизотропии материала совпадают с осями системы координат. Так же как и для изотропной среды, система уравнений, описывающая нестационарные адиабатные движения сжимаемой анизотропной среды включает в себя: уравнение неразрывности, уравнения движения сплошной среды, уравнение энергии [2].

Упругое деформирование анизотропного материала описывается обобщенным законом Гука. Давление в ортотропных материалах преград вычисляется с помощью уравнения состояния [3]

Критерий разрушения Цая и Ву позволяет учитывать различные значения пределов прочности ортотропного материала при растяжении и при сжатии, а также при двуосном нагружении, при этом он позволяет записывать тензорный полином любой степени, в зависимости от необходимой точности вычислений.

В критерии разрушения Хоффмана полагается, что пределы прочности материала при растяжении и сжатии не равны. Благодаря членам, содержащим полные напряжения, этот критерий позволяет учитывать влияние гидростатического напряжения на разрушение материала.

В отличие от критерия разрушения Хоффмана в критерии разрушения Мизеса-Хилла предполагается, что пределы прочности материала при растяжении и сжатии равны, а гидростатическое давление не влияет на наступление разрушения в материале, поэтому этот критерий может быть записан в виде, содержащем только девиаторы напряжений. Данный критерий был введен Р. Хиллом для описания подвергнутых обработке в холодном состоянии металлов, степень анизотропии которых мала и погрешности, вносимые гидростатическим напряжением, были незначительными.Критерий разрушения Ашкенази позволяет учитывать характеристики прочности под углом 45° (прочность при растяжении и сжатии) относительно направления осей симметрии материала, однако не учитывает различие пределов прочности при растяжении и сжатии в направлении осей симметрии материала.

В случае выполнения условия разрушения деформирование материала преграды описывается следующим образом. Если выполнение критерия разрушения происходит в волне сжатия (), считается, что дальнейшее поведение материала описывается гидродинамической моделью , а если в волне растяжения (), то считается, что материал разрушен, и компоненты тензора напряжений полагаются равными нулю:  [4]. Рассматривается взаимодействие компактного цилиндрического стального ударника, диаметром и высотой 15мм, с преградой из органопластика. Упругопластическое течение материала ударника описывается моделью Прандтля-Рейса с использованием условия пластичности Мизеса. Давление в материале ударника вычисляется с помощью уравнения состояния Ми-Грюнайзена.

В работе получено следующее: для материалов, характеризующихся высокой степенью анизотропии упругих и прочностных свойств, влияние применения различных механических характеристик разрушения анизотропных материалов на результаты расчетов зависит от скорости нагружения материала. Как показали численные расчеты, выбор критерия разрушения существенно влияет на процесс разрушения. Учет различных характеристик при растяжении и сжатии позволяет более адекватно моделировать процесс, но увеличение количества независимых прочностных характеристик предъявляет более высокие требования к экспериментальным данным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Johnson G.R.** High velocity impact calculation in three dimensions // J. Appl. Mech. - 1977. - V. 44, №3. - P. 95-100.
2. **Седов Л. И.** Механика сплошных сред. - М.: Наука, 1976. - Т. 2. - 574 с.
3. **Канель Г.И., Щербань В.В.** Пластическая деформация и откольное разрушение железа "Армко" в ударной волне // ФГВ. - 1980. - Т. 16, № 4. - С. 93-103.
4. **Кривошеина М.Н., Радченко А.В., Кобенко С.В.** Разрушение ортотропного и изотропного сферических тел под действием импульса всестороннего сжатия // Механика композиционных материалов и конструкций. - 2001. - Т. 7, № 1. - С. 95-102.
1. *Работа выполнена по проекту 3.20.1.2 программы фундаментальных исследований СО РАН, программе Президиума РАН, проект 2.4.*

**© Кривошеина М.Н.,Туч Е.В., Радченко П.А., Кобенко С.В., 2011** [↑](#footnote-ref-1)