

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПРИ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ. ОТКОЛЬНОЕ РАЗРУШЕНИЕ

Значительный интерес при исследовании характера разрушения конструкционных материалов при ударно-волновом воздействии обусловлен важностью данных исследований при практической реализации в изготавливаемых конструкциях, в частности, в задачах создания ударопрочных элементов машин военной, авиа- и космической техники, взрывостойких конструкций для хранения и транспортировки объектов, содержащих токсичные или взрывчатые вещества.

Характер разрушения материалов и элементов конструкций существенным образом зависит от вида прикладываемой нагрузки и скорости нагружения. Экспериментально установлено, что в титановых сплавах, конструкционных сталях и т.д. в условиях приложения ударно-волнового нагружения разрушение может носить откольный характер. Исследования откольного разрушения вносят существенный вклад в развитие теории конструкционной прочности.

Цель работы: разработка конечно-элементной (КЭ) модели, описывающей разрушение конструкционных материалов в условиях ударного нагружения. В работе производится исследование процесса разрушения материалов динамической нагрузкой.

Метод исследования. Построена модель упруго-пластической среды, работающей в условиях динамического нагружения, сопровождающегося динамическим контактным взаимодействием. На основании предложенной модели производится анализ эффектов откольного разрушения конструкционных материалов. Разработка модели процесса откольного разрушения образца при ударном нагружении произведена с применением вычислительных методов, реализованных в программной системе КЭ анализа LS-DYNA [1].

На рис. 1 представлена геометрическая постановка задачи: ударник движется поступательно со скоростью $U = 459$ м/с в направлении вдоль оси OY . В момент времени $t = 0$ ударник начинает контактное взаимодействие с неподвижной мишенью. Неподвижность мишени обеспечивается при помощи удерживающего элемента, жестко закрепленного на внешней цилиндрической, верхней и нижней плоскостях. Расчет производится с учетом плоскости симметрии (плоскость XOY).

Для описания механизма разрушения мишени применен критерий разрушения (1):

$$\sigma_c = 0.5 \rho_0 C_0 (U_1 - U_2) \quad (1)$$

где ρ_0 — плотность материала пластины, C_0 — продольная скорость звука в материале пластины, U_1 и U_2 — максимальная и минимальная скорость свободной поверхности пластины в процессе откольного разрушения, определяемые при помощи проведения натурного эксперимента [2].

Для исследования динамического поведения системы “ударник + мишень + удерживающий элемент” предложено использовать: упруго-пластическую модель среды, описывающую поведение материала ударника (титановый сплав ВТ-6), мишени (титановый сплав ВТ-22) и удерживающего элемента (Сталь-3).

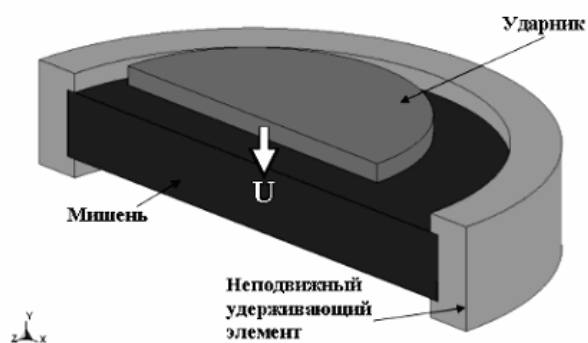


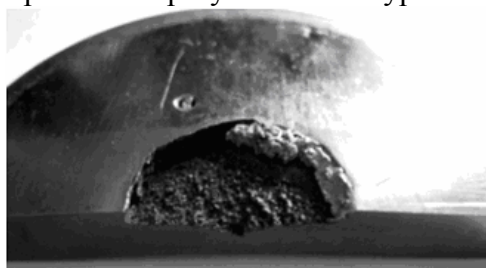
Рис. 1. Откольное разрушение. Постановка задачи

Механическое поведение материалов характеризуется параметрами, представленными в табл. 1.

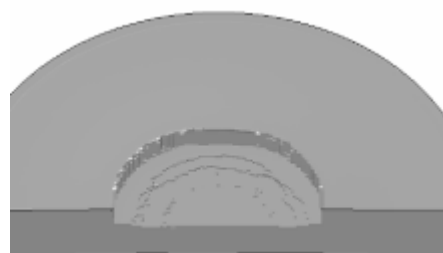
Таблица 1.

	Плотность ρ [кг/м ³]	Модуль Юнга E [ГПа]	Коэффициент Пуассона ν	Предел текучести Y_0 [ГПа]	Модуль упрочнения E_t [ГПа]
Ударник	4500	187	0.34	1.0	0.3
Мишень	4500	165	0.34	0.9	0.1
Удерживающий элемент	7 800	210	0.29		

На рис. 2 и 3 представлен визуальный сравнительный анализ результатов КЭ моделирования и результатов натурального эксперимента [2].

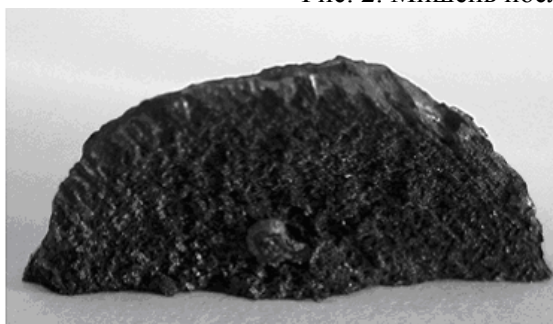


Результат натурального эксперимента

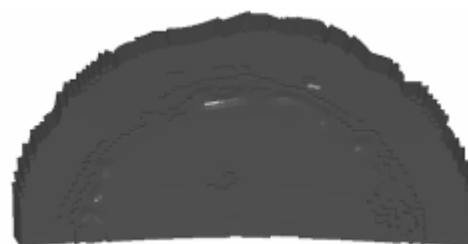


Результат трехмерного КЭ моделирования

Рис. 2. Мишень после образования откольной чашечки



Результат натурального эксперимента



Результат трехмерного КЭ моделирования

Рис. 3. Откольная чашечка

Проведение сравнительного анализа представленных результатов позволяет сделать вывод, что построенная КЭ модель демонстрирует хорошее качественное совпадение результатов с экспериментальными данными.

Построенная КЭ модель позволяет:

- проводить анализ эффектов откольного разрушения конструкционных материалов;
- исследовать пространственное динамическое состояние непосредственно внутри нагружаемого образца и в области возникновения разрушения;
- исследовать механизм образования и развития трещин, приводящих к возникновению откольной чашечки;
- проводить анализ конструкций с целью поиска материала с максимальной стойкостью к разрушению ударными нагрузками.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Hallquist J.O. LS-DYNA. Theoretical Manual, Livermore Software Technology Corporation, 1998.
2. Работы Мещерякова Ю.И., Институт проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург.