ISBN 978-5-7417-0665-7
Актуальные вопросы моделирования. М., 2018

УДК 517.9

Н. И. Хохлов, Д. П. Григорьевых
Московский физико-технический институт
(государственный университет)
E-mail: k_h@inbox.ru

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЙ ПРИ ДИНА… МИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ С УЧЕТОМ РЕОЛОГИИ РАЗРУШЕ… НОГО МАТЕРИАЛА

Целью данной работы является исследование волновых процессов в гетеро… средах с учетом разрушений материала. Представлен метод, позволяющий … кой степенью точности провести моделирование процесса разрушения, в то… ле с учетом изменения реологии материала. Получены решения ряда те… задач.

Ключевые слова: волновые процессы, моделирование разрушений, мо… разрушений.

Математическая модель

Для математического моделирования волновых процессов … формируемом твердом теле используется система динамических ур… ний, объединяющая уравнения движения и реологические соотноше… виде [1]

$$\rho \frac{\partial V_x}{\partial t} = \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y},$$

$$\rho \frac{\partial V_y}{\partial t} = \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y},$$

$$\dot{\sigma}_{ij} = q_{ijkl} \dot{\varepsilon}_{kl}.$$

Здесь ρ – плотность среды, V_x, V_y – компоненты скорости … щения, σ_{ij}, ε_{kl} – компоненты тензоров напряжения и деформаций…

© Н. И. Хохлов, Д. П. Григорьевых, 2018
© Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего обр… вания «Московский физико-технический институт (государственный университет)», 20…

…понент тензора четвёртого порядка q_{ijkl} определяется реологией сре… Для линейно-упругого тела имеем

$$q_{ijkl} = \lambda \delta_{ij} \delta_{kl} + \mu(\delta_{ik}\delta_{jl} + \delta_{il}\delta_{jk}).$$

В этом соотношении λ и μ – упругие постоянные Ламе, …символ Кронекера. Для численного решения динамических уравне… механики деформируемого твердого тела используется сеточно-…теристический метод, подробнее с которым можно ознакомиться в … Возможность описания произвольных геометрий реализована за … использования структурных криволинейных сеток [4].

В работе использовался дискретный подход к описанию процесса …рушения материала. В каждом расчётном узле хранится бинарный при… разрушен ли материал в нём или нет. На каждом временном шаге … неразрушенных узлов проверяется соответствующий критерий …, и если он выполнен, то вводится признак разрушения и вы… соответствующие корректировки. Рассматривались две раз… модели разрушения: «модель песка» и «модель трещин».

Рассмотрим подробнее «модель песка». В основе определения … разрушения лежит критерий пластичности Мизеса [5]:

$$y_S < \sqrt{\frac{1}{4}(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + \sigma_{xy}^2}.$$

На основе вычисленных значений тензора напряжений проводит… проверка, и если он выполнен, то материал в узле сетки считается … В этот момент производится изменение параметров мате… – скачком уменьшается в десять раз параметр Ламе μ. Также … временном шаге в дальнейшем обнуляются все отрицательные … напряжения, что физически означает отсутствие сопротивления … на разрыв.

В основе «модели трещин» лежит анализ отдельных компонент … напряжений. Впервые трещина появляется при превышении од… напряжений максимального напряжения (σ_{MAX}, характе… материала), и трещина своей плоскостью перпендикулярна глав… В каждом узле, содержащем трещину, в дальнейшем

ISBN 978-5-7417-0665-7
Актуальные вопросы моделирования. М., 2018

обнуляются нормальные и тангенциальные (по отношению к нап нию трещины) компоненты тензора напряжений. В каждом узле существовать максимум одна трещина, в случае превышения их ч дальнейшем расчёт производится по «модели песка».

Результаты

В качестве примера работы алгоритма рассмотрим ряд расчетн дач. На рис. 1 приведен эксперимент с резким растяжением плас (длина импульса в несколько раз меньше длины пластины), в которо есть начальные трещины. Когда импульс доходит до начала или трещины, она начинает расти.

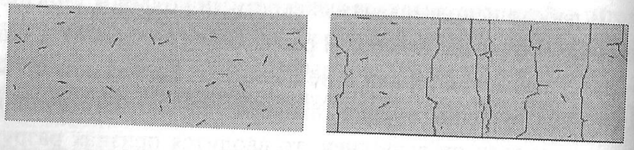

Рис. 1. Рост трещин в пластине при растяжении. Слева – начальная конфигу трещин, справа – результат после приложения растягивающей нагрузки

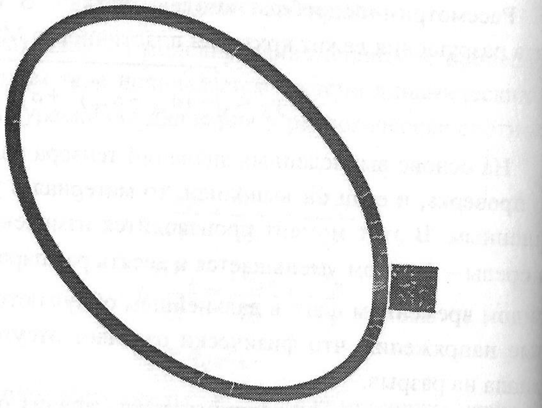

Рис. 2. Разрушения при соударении квадратного ударника с овальной оболочкой

Еще один пример расчета приведен на рис. 2, где представлен рез тат моделирования соударения ударника квадратной формы с тонкой о лочкой овальной формы. Показана деформаций оболочки и образова мест разрушений.

ISBN 978-5-7417-0665-7
Актуальные вопросы моделирования. М., 2018

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-2888.2017.9.

Литература

1. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. 1. – М.: Наука, 1970. 492 с.
2. Магомедов К.М., Холодов А.С. Сеточно-характеристические численные методы. – М.: Наука, 1988. 288 с.
3. Иванов В.Д., Кондауров В.И., Петров И.Б., Холодов А.С. Расчёт динамического деформирования и разрушения упругопластических тел сеточно-характеристическими методами // Математическое моделирование. – 1990. Т. 2, № 11. – С. 10–29.
4. Голубев В.И., Петров И.Б., Хохлов Н.И. Численное моделирование сейсмической активности сеточно-характеристическим методом // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2013. – Т. 53, № 1. – С. 1709–1720.
5. Richard von Mises Mechanik der festen Korper im plastisch-deformablne Zustand // Gottin. Nachr. Math. Phys. – 1913. – Vol. 1. – P. 582–592.

Получено 30.04.2018