

## РАСЧЕТ ПРОЦЕССОВ РАЗРУШЕНИЯ

Бураго Н.Г.

*Институт проблем механики РАН (Москва)*

В работе сделан обзор основных подходов к численному моделированию процессов разрушения.<sup>1</sup> В рамках подхода теории поврежденности численно решен ряд новых задач.

На Рис. 1 и 2 показано решение задачи о разрушении упругопластических пластин с круглыми и эллиптическими макропорами и жесткими включениями при растяжении с учетом влияния микродефектов типа микропор (объемная пластическая деформация), дислокаций (девиаторная пластическая деформация) и микротрещин (повреждаемость).

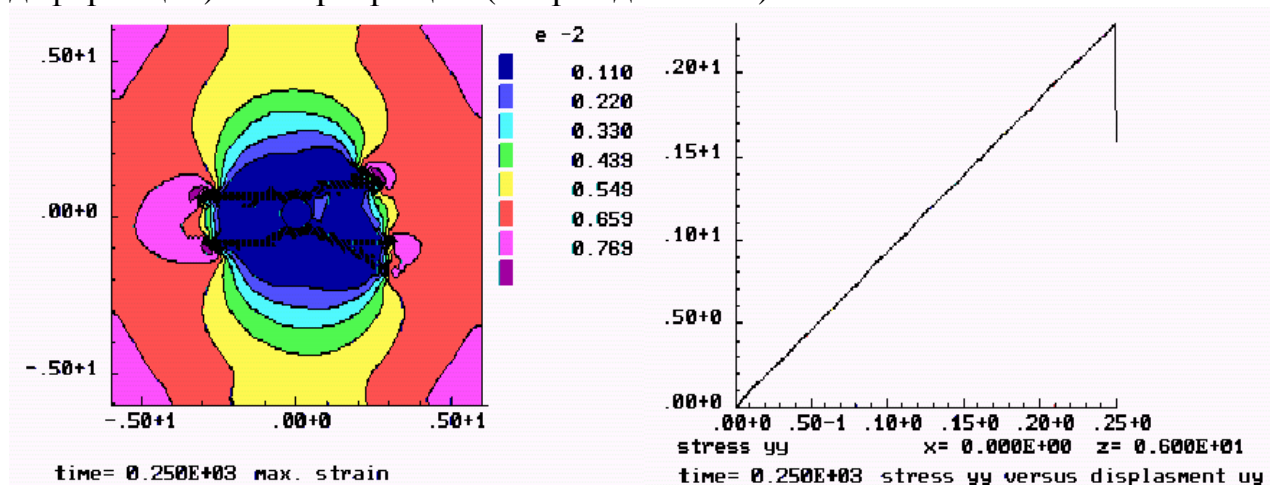


Рис. 1. Картина разрушения при наличии круглого жесткого включения. Черные узкие зоны показывают развивающиеся макро-трещины. Цветные зоны показывают величину деформации  $\varepsilon_x + \varepsilon_y$ . Правый график показывает зависимость напряжения  $\sigma_y$  от перемещения  $U_y$  в точке  $(x = 0, y = 6)$ .

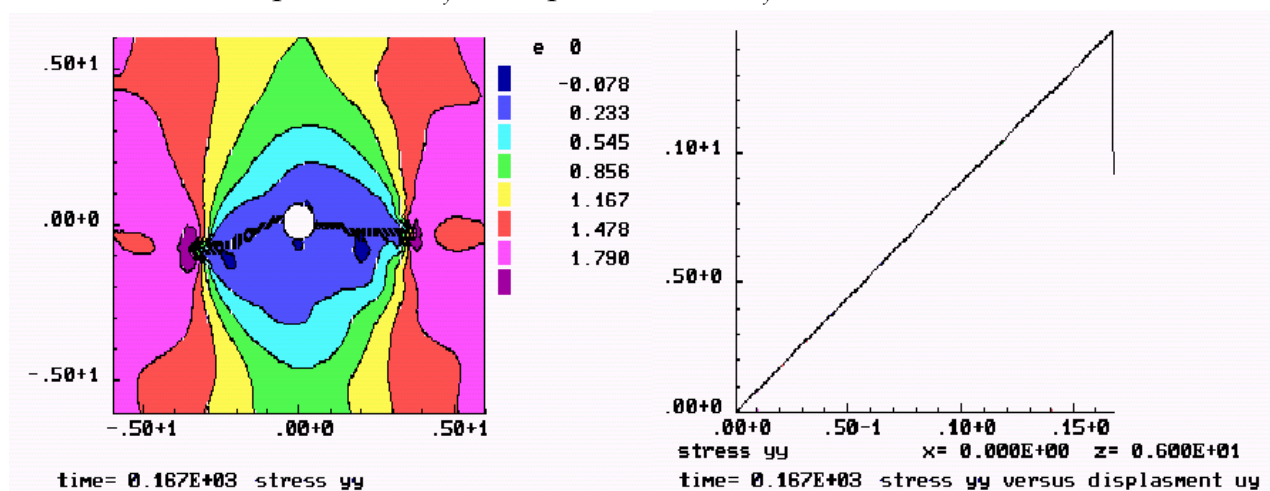


Рис. 2. Картина разрушения при наличии круглой поры. Черные узкие зоны показывают развивающиеся макро-трещины. Цветные зоны показывают величину деформации  $\varepsilon_x + \varepsilon_y$ . Правый график показывает зависимость напряжения  $\sigma_y$  от перемещения  $U_y$  в точке  $(x = 0, y = 6)$ .

В обоих случаях, показанных на Рис. 1 и 2 материал был упругим.

<sup>1</sup> Данная работа выполнена по проекту РФФИ 05-01-245 и по программам РАН ОЕ-13, ОЕ-14

Различие картин разрушения объясняется разным характером концентрации деформаций около поры и около жесткого включения, что видно из Рис. 3.

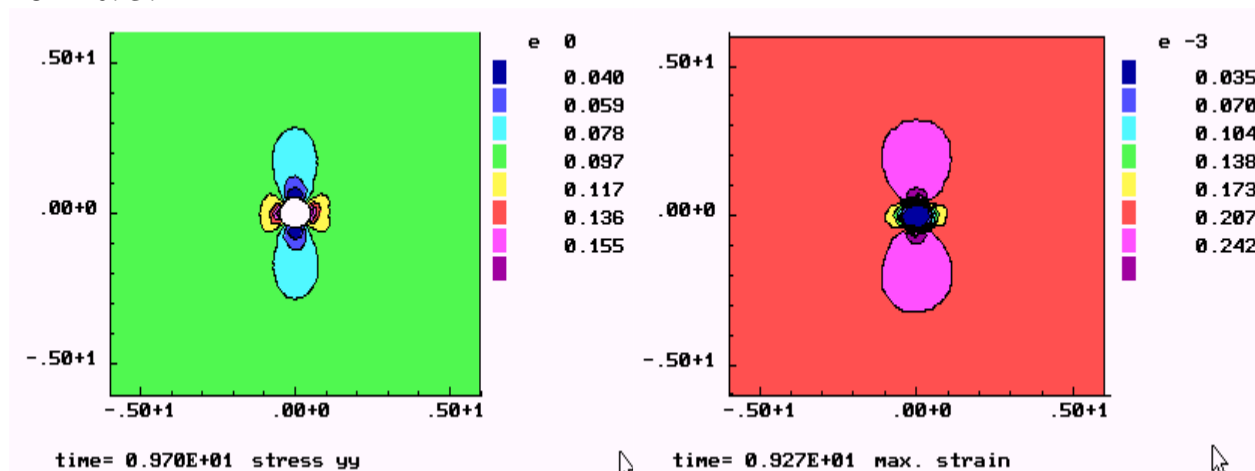


Рис. 3. Картина концентрации деформаций около поры (слева) и около жесткого включения (справа). Максимальной деформации соответствует темносиреневый цвет.

В случае поры разрушение начинается от наиболее удаленных от центра поры точек по горизонтальному направлению  $x$ , а для жесткого включения разрушение раньше наступает в наиболее удаленных от центра включения точках по вертикальному направлению  $y$ .

На Рис. 4 показано решение задачи о влиянии естественного стохастического разброса прочностных свойств материала на развитие фрактальных структур макротрещин.

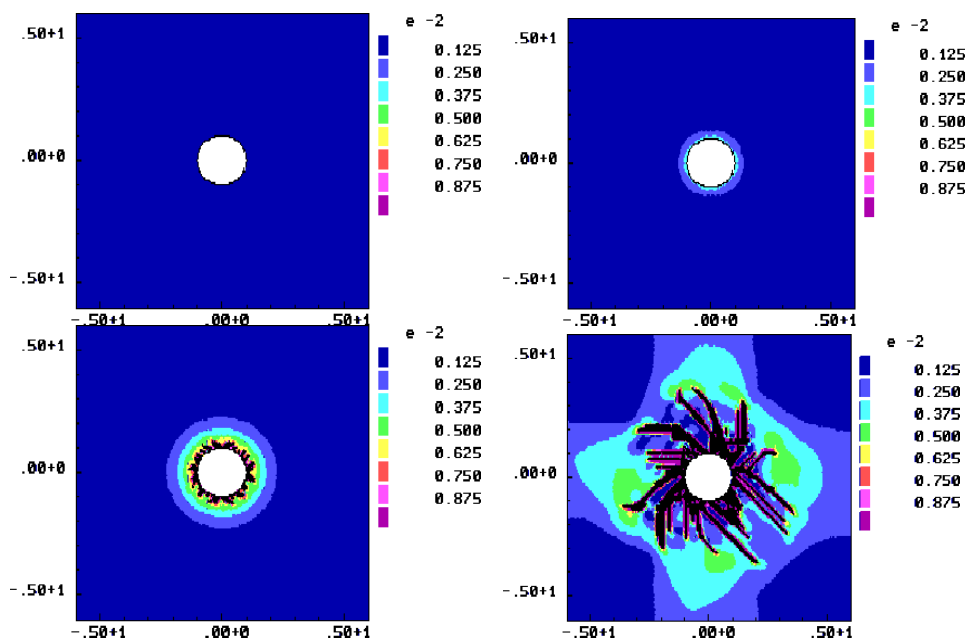


Рис. 2. Развитие фрактальной системы трещин около цилиндрической скважины при действии внутреннего давления. В начале процесса зона разрушения почти симметрична, а затем благодаря случайному разбросу прочностных свойств по мере выполнения критерия разрушения образуются и развиваются множественные макротрещины.

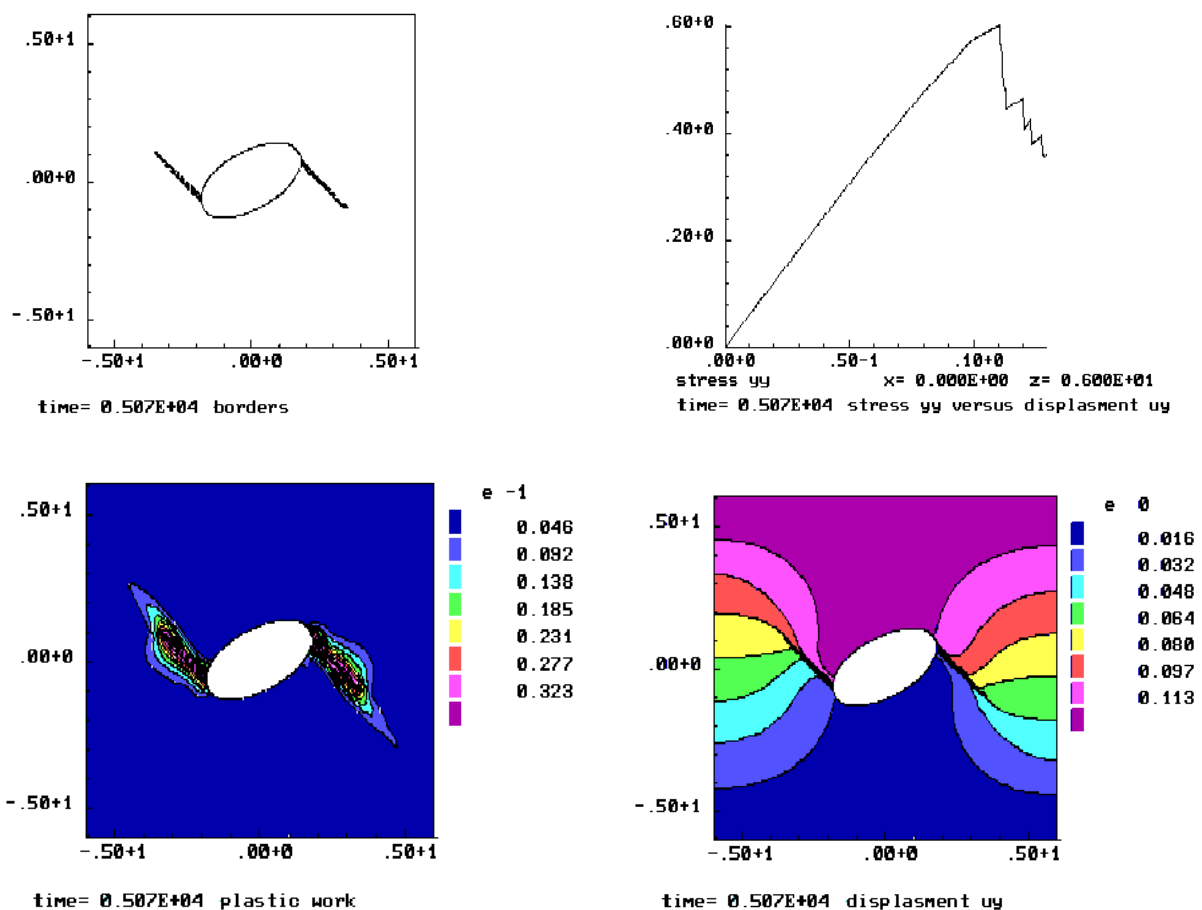


Рис. 4. Случай одной большой овальной поры ориентированной под углом  $30^\circ$ . Показаны зоны разрушения, рассчитанная лиаграмма деформирования, распределение пластической работы и вертикального смещения.

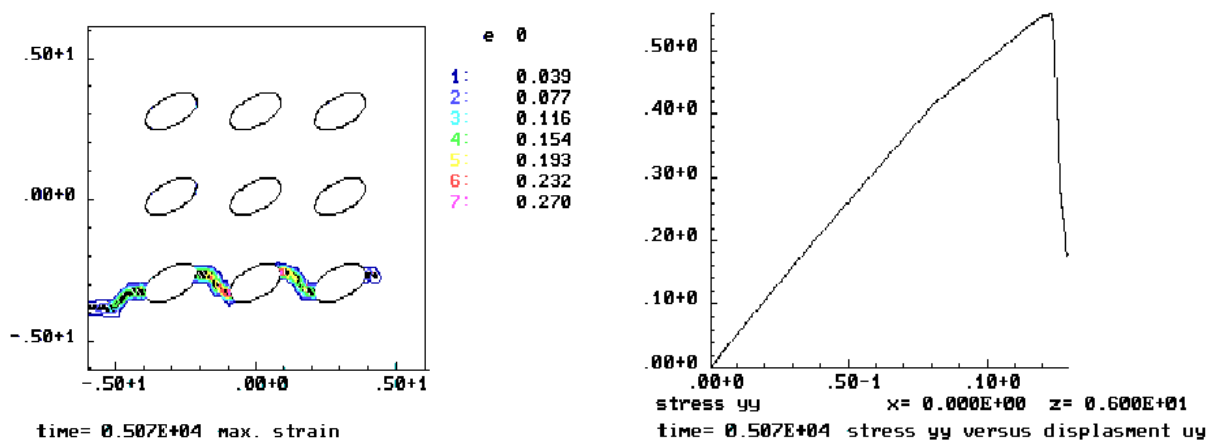


Рис. 8. Случай группы больших овальных пор ориентированных под углом  $30^\circ$ . Показаны зоны разрушения (слева) и рассчитанная лиаграмма деформирования (справа).

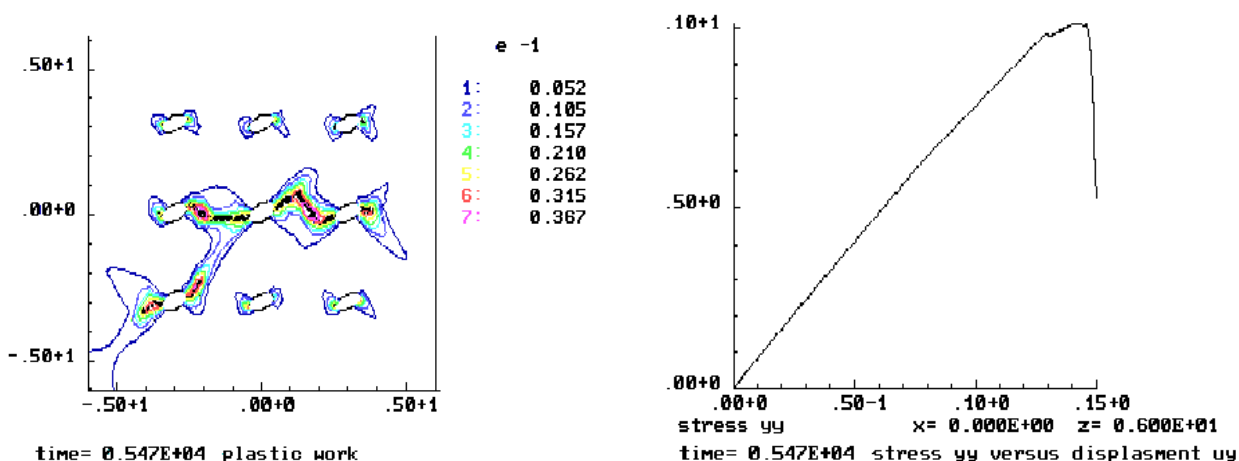


Рис. 8. Случай группы маленьких овальных пор ориентированных под углом  $30^\circ$ . Показаны зоны разрушения (слева) и рассчитанная диаграмма деформирования (справа).

В численных моделях теории поврежденности использованы: а) изотропная упругость, ассоциированный закон течения и условие пластичности Гарсона, б) условие разрушения по максимальной главной деформации и линейная кинетика поврежденности, в) обратно-пропорциональная зависимость модулей упругости от поврежденности.

Более подробное обсуждение используемого подхода можно найти в [1-9].

## Список литературы

1. Н.Г.Бурого, В.Н.Кукуджанов, Численное решение упруго-пластических задач методом конечных элементов. // Препринт ИПМ АН СССР, N. 236, 1988, 63 с. Электронный вариант доступен в Интернете: <http://www.ipmnet.ru/~burago/papers/prep1988.pdf>
2. В.Н.Кукуджанов, В.Л.Иванов, А.Н.Ковшов, Д.Н.Шнейдерман. Исследование локализации пластических деформаций при потере устойчивости отколов. Препринт N 538. Институт проблем механики РАН. М., 1994, 68 с.
3. V.N.Kukudzhanov, N.G.Bourago, A.N.Kovshov, V.L.Ivanov and D.N.Schneiderman. On the problem of damage and localization of strains// Publication 95:11. Chalmers University of Technology. Goteborg. Sweden. 1995. PP. 1-35.
4. Н.Г.Бурого, А.И.Глушко, А.Н.Ковшов Термодинамический метод вывода определяющих соотношений для моделей сплошных сред, Изв. РАН, МТТ, 2000. N.6. С. 4-15.
5. Н.Г.Бурого, А.Н.Ковшов Модель дилатирующей разрушающейся среды, Изв. РАН, МТТ, 2001, N.5, С. 112-117
6. N.G.Bourago, A Survey on Contact Algorithms // Proceedings of Intern. Workshop on Grid Generation and Industrial Applications, Computing Centre of RAS, Moscow, 2002, p. 42-59
7. Н.Г.Бурого, В.Н.Кукуджанов, Моделирование процессов разрушения в термо-упруго-пластических телах, Прикл. проблемы прочности и пластичности. Нижний Новгород. 2002. Вып. 63. С. 40-48.
8. Бурого Н.Г., Кукуджанов В.Н. Численное решение задач континуального разрушения. Москва: Институт проблем механики РАН, 2004. Препринт No. 746. С. 1-39. Электронный вариант доступен в Интернете: <http://www.ipmnet.ru/~burago/papers/prepr03.pdf>
9. Н.Г.Бурого, В.Н.Кукуджанов Обзор контактных алгоритмов // Изв. РАН Механика твердого тела, 2005. №1. С. 46-87.