

УДК 539.375

©2000

А.А.Каминский, Л.А.Кипнис,
В.А.Колмакова, Г.А.ХазинОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОДЕЛИ «ТРЕЗУБЕЦ»
ПРИ РАСЧЕТАХ ПЛАСТИЧЕСКИХ ЗОН ВБЛИЗИ
КОНЦОВ ТРЕЩИНЫ И УГЛОВЫХ ТОЧЕК

Проблемы, возникающие при исследовании разрушения упругопластических [2 — 6, 10, 11], вязкоупругих [12] и неоднородных [13, 15] материалов, требуют разработки более совершенных моделей трещин, соответствующих реальной картине процесса разрушения.

За последние годы было опубликовано большое число работ, посвященных задачам о расчете при плоской деформации пластических зон вблизи концов трещин при условии, что эти зоны моделируются двумя узкими прямолинейными пластическими полосами, исходящими из конца трещины и представляющими собой линии скольжения [6, 8, 10]. На линии скольжения допускается разрыв лишь касательного смещения, а касательное напряжение равно пределу τ_s текучести на сдвиг.

Основанием для такого моделирования служат результаты экспериментальных исследований [5], согласно которым у конца трещины нормального разрыва на начальном этапе процесса пластического деформирования появляются две пластические полоски, наклоненные к линии ее продолжения. Угол наклона полоски к линии продолжения трещины, установленный в [10], приблизительно равен 72° . В [10] показано, что результаты расчета начальной пластической зоны вблизи конца трещины нормального разрыва в рамках указанной модели в определенном смысле согласуются с соответствующими результатами численного расчета для «размытой» пластической зоны, имеющей форму пластических «ушей» [14]. Поэтому пластическая зона, отвечающая данной модели, может рассматриваться как некоторое приближение к «размытой» пластической зоне.

Однако, как следует из исследований зоны пластичности у вершины трещины с помощью электронномикроскопических и рентгеноструктурных методов [2, 3], наряду с сильно развитыми боковыми зонами пластичности (в форме «бабочки»), на всех этапах процесса разрушения, включая начальный, присутствует фронтальная зона предразрушения, линейный размер которой на продолжении трещины намного меньше максимальных линейных размеров боковых зон пластичности. С ростом нагрузки данная пластическая зона предразрушения превращается в зону деструкции материалов, отличающуюся максимально высоким уровнем пластических деформаций, наличием в ней пор и микротрещин. По мере роста нагрузки происходит увеличение зон пластичности, изменение угла наклона боковых зон пластичности, который на последующих этапах процесса разрушения составляет около 50° .

К выводу о существовании развивающейся из конца трещины третьей пластической зоны (наряду с двумя боковыми) можно прийти не только экспериментальным, но и теоретическим путем. Для этого достаточно в рассмотренной в [10] симметричной задаче теории упругости для плоскости, из точки которой исходят полубесконечная трещина и две прямые скольжения конечной длины, исследовать поведение напряжений вблизи конца трещины. Указанное исследование проведено в [1]. Его результаты показывают, что после появления исходящих из конца трещины нормального разрыва боковых пластических линий скольжения, конец трещины остается концентратором напряжений со степен-

Р Е З Ю М Е . Розглядається питання про розрахунок пластичної зони біля кінця тріщини в однорідному ізотропному пружнопластичному тілі, а також біля кутової точки межі такого тіла в умовах плоскої деформації в рамках моделей з пластичними смугами. Показано, що порівняно з широко розповсюдженою моделлю з двома прямими лініями ковзання процес пластичного деформування точніше описує модель «тризубець». У випадку тріщини нормального розриву у квазікрихкому матеріалі наводяться результати розрахунків пластичної зони в рамках моделі «тризубець», що відповідають різним етапам процесу розвитку пластичних деформацій.

S U M M A R Y . A question of calculation of a plastic zone near the crack ends and corner points in elastoplastic solid is considered under plane strain in the limits of models with plastic strips. It is shown that in comparison with widely-spread model with two straight slip-lines the process of plastic deformation is more exactly described by the «trident» — model. For the case of the crack of normal rupture in quasi-brittle material the results of calculations of plastic zone in the limits of «trident» — model, are given, which correspond to different stages of the process of development of plastic deformation.

1. Каминский А.А., Кипнис Л.А., Колмакова В.А. Расчет пластической зоны в конце трещины в рамках модели «тризубец» // Прикл. механика. — 1997. — 33, № 5. — С. 70 — 76.
2. Каминский А.А., Нижник С.Б. Исследование закономерностей изменения пластической зоны у края трещины и характеристик трещиностойкости металлических материалов в зависимости от их структуры (Обзор) // Прикл. механика. — 1995. — 31, № 10. — С. 3 — 27.
3. Каминский А.А., Усикова Г.И., Дмитриева Е.А. Экспериментальное исследование распределения пластических деформаций в окрестности вершины трещины при статическом нагружении // Прикл. механика. — 1994. — 30, № 11. — С. 69 — 75.
4. Кипнис Л.А., Черепанов Г.П. Применение принципа выбора к проблеме начального развития линий скольжения из угловой точки // Прикл. математика и механика. — 1989. — 53, № 1. — С. 159 — 164.
5. Леонов М.Я., Витвицкий П.М., Ярема С.Я. Полосы пластичности при растяжении пластин с трещиновидным концентратором // Докл. АН СССР. — 1963. — 148, № 3. — С. 541 — 544.
6. Панасюк В.В., Саврук М.П. Модель смуг пластичності в пружнопластичних задачах механіки руйнування // Фіз.-хім. механіка матеріалів. — 1992. — 28, № 1. — С. 49 — 68.
7. Пардон В.З., Перлин П.И. Методы математической теории упругости. — М: Наука, 1981. — 688 с.
8. Саврук М.П., Данилюк А.М. Распространение полос скольжения у вершины краевой трещины при плоской деформации // Прикл. механика. — 1994. — 30, № 1. — С. 56 — 61.
9. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. — М: Наука, 1974. — 640 с.
10. Черепанов Г.П. Пластические линии разрыва в конце трещины // Прикл. математика и механика. — 1976. — 40, № 4. — С. 720 — 728.
11. Kaminskii A.A., Galatenko G.V. On the temperature dependence of fracture toughness in the brittle-to-ductile transition region // Прикл. механика. — 1999. — 35, № 4. — С. 80 — 86; (Int. Appl. Mech. — 1999. — 35, N 4 — P. 398 — 404).
12. Kaminskii A.A., Gavrilov G.V. Subcritical growth of macrocracks in an aging orthotropic viscoelastic composite under static loads // Прикл. механика. — 1999. — 35, № 6. — С. 92 — 97; (Int. Appl. Mech. — 1999. — 35, N 6 — P. 621 — 626).
13. Kaminskii A.A., Kipnis L.A., and Kolmakova V.A. On the Dugdale model for a crack at the interface of different media // Прикл. механика. — 1999. — 35, № 1. — С. 63 — 68; (Int. Appl. Mech. — 1999. — 35, N 1. — P. 58 — 63).
14. Levy N., Marcal P.V., Ostergren W.J., Rice J.R. Small scale yielding near a crack in plane strain: a finite element analysis // Int. J. Fracture Mech. — 1971. — 7, N 2. — P. 112 — 122.
15. Nizhnik S.B. Study of crack resistance of plastically anisotropic metal materials // Прикл. механика. — 1997. — 35, № 4. — С. 87 — 94; (Int. Appl. Mech. — 1999. — 35, N 4 — P. 405 — 412).

Ин-т механики им. С.П.Тимошенко
НАН Украины, Киев (Украина)

Поступила 17.03.99