

УДК 539.3

**ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ВЕРШИНЫ ТРЕЩИНЫ В КРИСТАЛЛЕ
НА ЭВОЛЮЦИЮ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ**

© 2011 г.

Д.Н. Карпинский, С.В. Санников

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

karp@math.rsu.ru

Поступила в редакцию 15.06.2011

Выполнен расчет пластической деформации у вершины трещины в кристалле, которая обусловлена скольжением дислокаций по плоскостям легкого скольжения при совместном действии тепловых флуктуаций и сдвигового напряжения. Исследованы различные формы трещины: трещина-разрез, клинообразная, параболическая и другие формы вершины трещины. Численные расчеты выполнены для кристалла α -Fe.

Ключевые слова: вершина трещины, термоактивированное скольжение дислокаций, коэффициент интенсивности напряжения, T -напряжение, направление роста трещины.

Введение

Определение влияния формы вершины трещины на характеристики разрушения является актуальной задачей механики разрушения. Для хрупкой трещины с радиусом вершины ρ при смешанном нагружении показано в [1], что величину ρ можно оценить

$$\rho = 16.21 \gamma_s / \sigma_c. \quad (1)$$

Для α -Fe удельная поверхностная энергия $\gamma_s = 1.42$ Дж/м², напряжение когезии $\sigma_c = 31.7$ ГПа, и оценка (1) дает $\rho = 0.726$ нм (около 3 постоянных решетки). Отсюда следует, что хрупкую трещину в приближении механики сплошной среды следует рассматривать как разрез с $\rho \rightarrow 0$.

Пластическая деформация у вершины трещины в нагруженном образце существенно затупляет трещину [2]. Взаимное влияние формы вершины трещины и распределение пластической деформации в ее окрестности существенно меняет оценку (1). В частности, взаимодействие трещины и пластической деформации определяет условие вязко-хрупкого перехода, которое обычно связывают с критическим значением ρ .

Постановка задачи и метод решения

Рассмотрим плоские задачи об эволюции пластической деформации у вершины трещины длиной $2l$, расположенной в плоскостях скола $\{100\}$ и $\{110\}$ бесконечного ОЦК кристалла с постоянной решетки a (рис. 1).

Аналогично [3] выберем системы скольжения, соответствующие системам легкого скольжения для α -Fe. В первом случае выберем направ-

ление линии фронта трещины $\langle 001 \rangle$ и систему легкого скольжения $\langle 111 \rangle \{110\}$. В ней пластическая деформация осуществляется путем термоактивированного движения смешанных дислокаций с вектором Бюргерса $\mathbf{b} = a/2 \langle 111 \rangle$. Для трещины в плоскости $\{110\}$ направления линий фронтов $\langle 111 \rangle$ и $\langle 110 \rangle$, а системы легкого скольжения $\langle 111 \rangle \{110\}$ и $\langle 111 \rangle \{112\}$ соответственно (линии дислокаций параллельны фронтам трещины) [3]. Для этих систем скольжения пластическая деформация происходит с помощью тех же дислокаций, но во втором случае дислокации чисто краевые. В расчетах учитываются только краевые компоненты смешанных дислокаций.

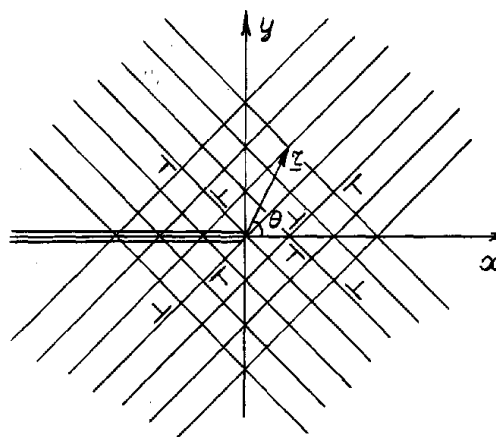


Рис. 1

К плоскостям кристалла $y = \pm \infty$ приложены однородные напряжения растяжения $\sigma_{yy}(t) = \sigma_a(t)$ (мода I) и сдвига $\tau_{xy}(t) = \tau_a(t)$ (мода II), монотонно возрастающие до некоторых значений $\sigma_{\max}, \tau_{\max}$, достаточных для пластического деформирования кристалла, но недостаточных для роста

трещины. После достижения нагрузками $\sigma_a(t)$ и $\tau_a(t)$ своих максимальных значений σ_{\max} и τ_{\max} , расчет проводился в режиме релаксации напряжения у вершины трещины, которому соответствует постоянные внешние напряжения. В расчете принята пропорциональность двух типов внешних нагрузок: $\sigma_a(t) = k\tau_a(t)$, постоянная k является параметром задачи.

Определяющие соотношения для скорости пластического деформирования, обусловленного термоактивированным движением дислокаций у вершины трещины, задание эффективного напряжения и его связь с плотностью эффективных дислокаций подробно обсуждаются в [4] и используются в настоящей работе. Метод расчета эволюции термоактивированной пластической деформации аналогичен [4] и выполнен для кристалла α -Fe. При расчете эффективного напряжения учитываются различные формы вершин трещин [2] и силы изображения, действующие на дислокации со стороны трещины.

На основе результатов расчетов эволюции пластической деформации была вычислена временная эволюция коэффициентов интенсивности напряжения (КИН). Далее результаты расчета КИН использовались для оценки прогноза направления роста трещины. Исследовано влияние не-сингулярных компонент тензора напряжения (T -напряжения) на эволюцию пластической деформации у различных форм вершин трещины [5].

Обсуждаются критерии вязко-хрупкого пере-

хода при разрушении при различных формах вершины трещины.

Выводы

1. Обнаружена существенная зависимость распределения пластической деформации у вершины трещины в кристалле, коэффициентов интенсивности напряжения и направления возможного роста трещины от формы вершины трещины.

2. Влияние T -напряжений на временные зависимости распределений пластической деформации у вершины трещины и коэффициентов интенсивности напряжения сводятся в основном к уменьшению времени достижения равновесия пластической деформации у вершины трещины в кристалле.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №10-08-00839-а).

Список литературы

1. Li Z., Ji C., Li Y., Xu L.R. // Mechanics Research Communication. 2007. V. 34. P. 472–477.
2. Kulmer G., Richard H.A. // Arch. Appl. Mech. 2006. V. 76. P. 711–723.
3. Narasimhan R. et al. // J. Phys. D: Appl. Phys. 2009. V. 42. P. 214005.
4. Карпинский Д.Н., Санников С.В. // Изв. РАН. Серия физическая. 2007. Т. 71, №12. С. 1777–1782.
5. Карпинский Д.Н., Санников С.В. // Деформация и разрушение материалов. 2009. №2. С. 20–24.

THE INFLUENCE OF THE CRACK TIP SHAPE IN A CRYSTAL ON THE PLASTIC DEFORMATION EVOLUTION

D.N. Karpinsky, S.V. Sannikov

The plastic deformation at the crack tip in a crystal is analyzed that caused the dislocation sliding along the light sliding planes by the joint action of the thermal fluctuations and the shear stress. Various crack shapes are studied: the crack-cut, the wedge-shape crack, the parabolic crack and others. The numeral analysis is carried out for a crystal of α -Fe.

Keywords: crack tip, thermoactivated dislocation slidin, stress intensity factor, T -stress, crack growth direction.