

УДК 539.3

И.С.Давыдов (5 курс, каф. МиПУ), А.С.Семенов, к.ф.-м.н., доц.,
 Б.Е.Мельников, д.т.н., проф. (каф. сопротивления материалов СПбГПУ)

ВЛИЯНИЕ ВЫБОРА ВЕСОВЫХ ФУНКЦИЙ ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ НЕЛОКАЛЬНЫХ МЕР НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ НА СКОРОСТЬ РОСТА УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН

Для описания роста усталостных трещин на начальной стадии необходим учет микроструктуры материала. Одним из наиболее эффективных подходов решения данной проблемы является использование нелокальных мер напряженного состояния, для определения которых в случае распространения прямолинейной трещины существуют 2 подхода:

1. Классический подход (1937 г. – Neuber Н., 1969 г. – Новожилов В.В., 1993 г. – Sähn S.):

$$\bar{B}(\rho) = \frac{1}{d_*} \int_{\rho}^{\rho+d_*} B(r') dr' . \quad (1)$$

2. Новый подход (2001 г.), учитывающий дисперсию в размерах зерен:

$$\bar{B}(\rho) = \frac{\int_0^{\infty} \psi(r'-\rho, d_*) B(r') dr'}{\int_0^{\infty} \psi(r'-\rho, d_*) dr'} = \int_0^{\infty} \omega(r', \rho, d_*) B(r') dr' , \quad (2)$$

где B – некоторая локальная мера напряженного состояния, ψ и ω – ненормированные и нормированные весовые функции, соответственно; d_* – микроструктурная константа материала, ρ – расстояние от вершины трещины. Осреднение (1) строго справедливо лишь для материалов имеющих регулярную микроструктуру с характерным размером ячейки периодичности d_* . Осреднение (2) позволяет корректно описывать поликристаллические агрегаты с нерегулярной микроструктурой, демонстрирующей разброс в размерах зерен. Соотношение (1) является частным случаем (2). В данной работе рассмотрены различные варианты ω .

Соотношение (2) при достаточно гладкой $B(\rho)$ может быть переписано в виде (3) или (4) с помощью разложения функции $B(\rho)$ в ряд Тейлора:

а) явное уравнение: $\bar{B}_{EXPL}(\rho) = B(\rho) + \bar{c} \nabla^2 B(\rho) ; \quad (3)$

б) неявное уравнение: $\bar{B}_{IMPL}(\rho) - \bar{c} \nabla^2 \bar{B}(\rho) = B(\rho) . \quad (4)$

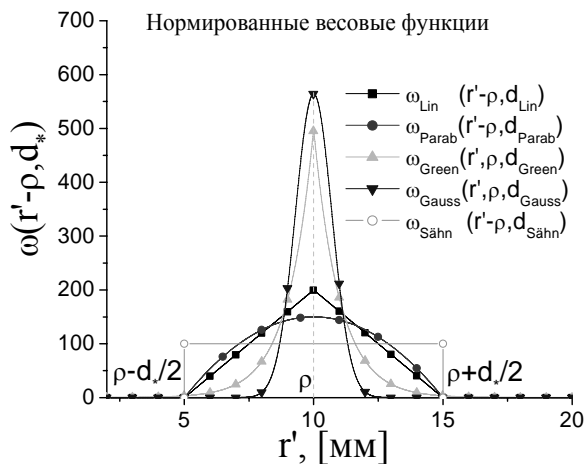


Рис. 1

В качестве B было взято максимальное окружное напряжение в задаче Гриффитса об одноосном растяжении плоскости, ослабленной прямолинейной трещиной (см. рис. 2): $B = \max_{\varphi} \sigma_{\varphi} = \sigma_{\varphi}|_{\varphi=0} = \sigma_y|_{y=0}$.

Решение Вестергарда:

$$B_{Local}^{Exact}(\rho) = \sigma \frac{1+r/a}{\sqrt{2(r/a)+(r/a)^2}} = \sigma \frac{1+\rho/a}{\sqrt{2(\rho/a)+(\rho/a)^2}}, \quad (5)$$

где $\rho = r \cos \varphi = x - a$.

При $r/a \ll 1$ выражение (5) переписывается в виде:

$$B_{Local}^{Asimptot}(\rho) = \sigma \sqrt{\frac{a}{2\rho}}. \quad (6)$$

На основе представленных выражений для B (5) и (6) были выполнены расчеты нелокальных мер \bar{B} и скоростей роста трещин v для различных видов весовых функций ω .

Скорость роста усталостной трещины определялась на основе интегрирования уравнения эволюции накопления повреждений:

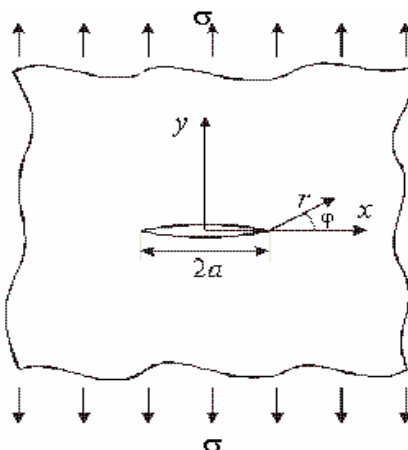
$$\frac{\partial D}{\partial N} = h(\Delta \bar{B}), \quad (7)$$

где $D(x, N)$ – функция поврежденности, N – число циклов, $\Delta \bar{B}$ – размах \bar{B} в пределах цикла.

Для идентификации функции эволюции повреждений h использовались критерий Коффина-Мэнсона и кинетическая диаграмма усталостного роста трещины (уравнение Пэриса).

Полученные \bar{B} , а также влияние неравномерного осреднения на скорость распространения усталостной трещины представлены на рис. 3 и 4, соответственно.

Рис. 2



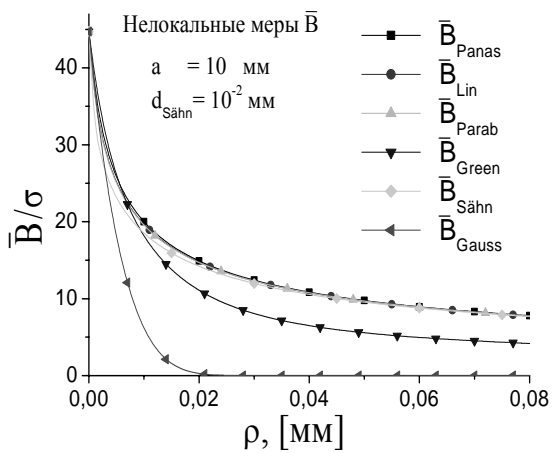


Рис. 3

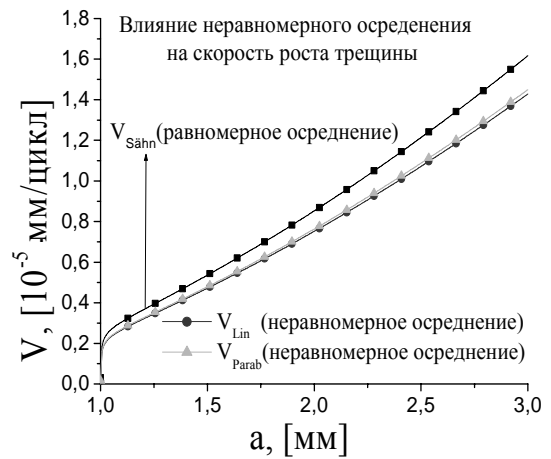


Рис. 4.

В рамках данной работы были проведены следующие исследования:

1. Выполнен сравнительный анализ влияния вида весовой функции на распределение поврежденности и скорости роста усталостных трещин. Установлена чувствительность \bar{B} и ν к выбору ω (см. рис. 3, 4).
2. Найдены связи между микроструктурными константами, соответствующие различным весовым функциям.
3. Проведен параметрический анализ нелокальных мер напряженного состояния.
4. Подготовлена теоретическая база для внедрения рассматриваемых моделей в конечно-элементный программный комплекс PANTOCRATOR.