Построены также модели трехслойных микрополярных пластин со стесненным вращением и «с малой сдвиговой жесткостью».

Отметим, что на основе построенных моделей решены различные задачи об определении НДС трехслойных микрополярных пластин и, в итоге, определены эффективные прочностые свойства микрополярных материалов.

Это система 12-го порядка с 6-ю граничными условиями на каждом крае срединной плоскости пластини. Она содержит 35 уравнений относительно 35-ти неизвестных функций: $N_{i3}, N_{3i}, M_{ii}, M_{ij}, L_{ii}, L_{ij}, \Lambda_{i3}, L_{33}, \Gamma_{i3}, \Gamma_{3i}, K_{ii}, K_{ij}, k_{ii}, k_{ij}, l_{i3}, \psi_i, w, \Omega_i, \iota$.

Список литературы

1. Саркисян С.О. Общие модели микрополярных упругих тонких пластин//Вестник Пермского гос. тех. ун-та. Математическое моделирование систем и процессов. 2008. N 16. С.111-120.
2. Саркисян С.О. Краевые задачи тонких пластин в несимметричной теории упругости// ПММ. 2008. Т.72. Вып. 1. С. 129-147.

ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРА ОХРУПЧИВАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ТРЕЩИНЫ ОТ ВЕЛИЧИНЫ НАГРУЗКИ И ТОЛЩИНЫ ОБРАЗЦА

Котречко С. А., Зимина Г. П., Сорока Е.Ф.

Институт металлофизики им. Г.В. Курдюмова НАН Украины,
г. Киев, Украина
katerok@imp.kiev.ua

Согласно современным представлениям физики разрушения, причиной хрупкого разрушения металлов являются зародышевые трещины (ЗТ), которые образуются в процессе пластической деформации. Инициирование хрупкого разрушения конструкционных сплавов связано со стохастическим процессом образования и потери устойчивости ЗТ в локальной области у вершины макротрещины («process zone», PZ) [1–4]. Условием достижения предельного состояния при хрупком разрушении металла является потеря устойчивости не менее одной ЗТ из ансамбля, содержащего N_a таких трещин [5]. Механическое состояние металла на макроуровне описывается следующим выражением:

$$P_{ms} = \frac{\sigma_f}{\sigma_{11}^{in}}, \tag{1}$$

где σ_f – макроскопическое напряжение хрупкого (квазихрупкого) разрушения металла, т. е. макронапряжение, при котором одна и более ЗТ может потерять устойчивость; σ_{11}^{in} - уровень растягивающих макронапряжений, действующих в металле при образовании ЗТ при заданной пластической деформации.

В этой зависимости параметр P_{ms} характеризует стабильность пластического состояния: при $P_{ms} \leq 1$ ЗТ теряют устойчивость и металл хрупко разрушается.

В общем случае

$$\sigma_f = k_v k_e R_{MC}, \tag{2}$$

где R_{MC} – минимальное напряжение разрушения стандартного цилиндрического образца при одноосном растяжении в интервале температур вязко-хрупкого перехода; k_v – коэффициент, показывающий, во сколько раз значение локального напряжения σ_f инициирования хрупкого разрушения в окрестности надреза или макротрещины превышает значение соответствующего напряжения разрушения при одноостном растяжении R_{MC}; k_e – коэффициент, характеризующий влияние пластической деформации на уровень R_{MC}.

$$\sigma_{11}^{in} = jq_T q_v \sigma_y \left(\frac{e_f}{e_y} \right)^n, \tag{3}$$

где j – коэффициент перенапряжения, связанный с многоосностью напряженного состояния ($j = {\sigma_1}/{\sigma_i}$; σ_1 – максимальное главное напряжение, σ_i – интенсивность напряжений); q_T и q_v – коэффициенты, позволяющие учесть увеличение предела текучести при снижении температуры и увеличении скорости нагружения; e_f – интенсивность пластической деформации в очаге инициирования разрушения в окрестности надреза; n – показатель деформационного упрочнения; σ_y – предел текучести в условиях одноосного растяжения при комнатной температуре; e_y – пластическая деформация на пределе текучести.

Подставляя (2) и (3) в (1) получим:

$$P_{ms} = \frac{k_v k_e R_{MC}}{jq_T q_v \sigma_y \left(e_f / e_y \right)^n}. \tag{4}$$

Это выражение на количественном уровне описывает влияние на состояние механической стабильности как механических свойств металла ($\sigma_y(\sigma_{0.2})$, n, R_{MC}), определяемых при испытании на одноосное растяжение, так и его напряженно-деформированного состояния (j, e), а также температурно-скоростных условий нагружения (q_T, q_v).

K_{ms} – значение параметра P_{ms} при одноосном статическом растяжении, однозначно задается механическими свойствами металла, которые определяются при этих испытаниях ($\sigma_y(\sigma_{0.2})$, n, R_{MC}). Учитывая, что для типичных конструкционных сталей $\sigma_y = \sigma_{0.2}$ (соответственно $e_y = 0.2\%$) и при одноосном растяжении стандартного цилиндрического образца $j = 1$ и $k_v = 1$, а минимальное напряжение хрупкого разрушения R_{MC} реализуется при критической деформации $e_K \approx 2\%$ получаем:

$$K_{ms} = \frac{R_{MC}}{\sigma_{0.2} 10^n}. \tag{5}$$

С учетом выражения (5) зависимость (4) можно представить так:

$$P_{ms} = \frac{K_{ms}}{q_\sigma q_T q_v q_e}, \tag{6}$$

где q_σ ($q_\sigma = \dfrac{j}{k_v}$) – параметр, описывающий охрупчивающее действие, обусловленное локальным двух-, трехосным растяжением металла и неоднородным распределением напряжений и деформаций в окрестности концентратора; q_e ($q_e = \dfrac{1}{k_e}\left(\dfrac{e_f}{e_K}\right)^n$) характеризует охрупчивающий эффект, вызванный локализацией пластической деформации в вершине надреза или магистральной трещины.

Для квазистатического нагружения ($q_v = 1$) выражение для P_{ms} имеет вид:

$$P_{ms} = \frac{K_{ms}}{\frac{j}{k_v k_e}\left(\frac{e_f}{e_K}\right)^n}, \tag{7}$$

($q_T = 1$, так как K_{ms} определено не для комнатной, а для любой текущей температуры).

В этом выражении числитель характеризует механические свойства металла, а знаменатель – охрупчивающее действие трещины, которое можно довольно просто определить экспериментально. В момент разрушения $P_{ms} = 1$, и, соответственно, $K_{ms} = \frac{j}{k_v k_e}\left(\frac{e_f}{e_K}\right)^n$ [6]. Это означает, что из экспериментальной температурной зависимости K_{ms} стали всегда можно найти значение охрупчивающего действия трещины для наперед заданного значения температуры. В данной работе критическая температура определялась в точке пересечения температурных зависимостей вязкости разрушения K_{jc} стали и коэффициента интенсивности напряжений $K_{jc\lim}$ при заданной величине относительной нагрузки $\frac{J}{\sigma_y} = 0.0365$. Нагрузка выбиралась таким образом, чтобы она не превышала критическое значение усилия начала общей текучести.

$$K_{jc\lim} = \sqrt{\frac{E\sigma_{0.2}}{(1-\nu^2)}\frac{J}{\sigma_y}} \tag{8}$$

В докладе использованы экспериментальные данные испытаний мелкомасштабных образцов-свидетелей с трещиной из реакторной стали 15Х2НМФА и испытаний гладких образцов на одноосное растяжение. Температурная зависимость K_{jc} строилась по методике «Мастер-кривой».

На основе полученных данных показана зависимость параметра охрупчивающего действия трещины q_σ от величины нагрузки и толщины образца. Влияние величины нагрузки описывается зависимостью:

$$q_\sigma = q_0^{1T} + a\ln\left[(J/\sigma_y) \big/ (J/\sigma_y)_0\right], \tag{9}$$

где $(J/\sigma_y)_0 = 0.0365$ - относительная нагрузка начала общей текучести; q_0^{1T} – значение параметра охрупчивающего действия трещины стандартного 1Т-СТ образца при этой нагрузке; a – коэффициент, зависящий от материала.

Влияние толщины образца описывает следующая зависимость:

$$q_\sigma = q_0^{1T} + b\ln\left(\frac{B}{B_0}\right), \tag{10}$$

где q_0^{1T} – значение q_σ – для стандартного 1Т-СТ образца; $B_0 = 25.4$мм – толщина стандартного 1Т-СТ образца; b – коэффициент, характеризующий материал.

Также найдены значения параметров a и b для реакторной стали 15Х2НМФА различных поставок для разных вероятностей разрушения (P_f =5%, 50% и 95%).

Список литературы

1. Котречко С.А. Локальный подход к анализу хрупкого разрушения и его физическая интерпретация //Проблемы прочности. - 2003. - №4. - С. 14-31.
2. Котречко С.А., МешковЮ.Я., Меттус Г.С. К вопросу о вязком и хрупком состояниях

поликристаллических металлов // Металлофизика. - 1990. - 12, №6. - С. 3-13.
3. Котречко С.А., МешковЮ.Я., Меттус Г.С., Никоненко Д.И. Механика и физика квазихрупкого разрушения металлов в условиях концентрации напряжений. Сообщение 3. Вязкость металлов и сплавов // Проблемы прочности. - 2000. - №1. - С. 72-92.
4. Котречко С.А. Критическое напряжение скола и «хрупкая» прочность поликристаллических металлов // Металлофизика. - 1992. - 14, №5. - С. 37-41.
5. Котречко С.А. Статистическая модель хрупкого разрушения поликристаллических металлов // Металлофизика и новейшие технологии. - 1994. - 16, №10. - С. 37-49.
6. Котречко С.А., МешковЮ.Я. Предельная прочность. Кристаллы, металлы, конструкции. Киев. Наук. Думка, 2008, 295 с.

ОБ ОДНОМ УРАВНЕНИИ СОСТОЯНИЯ И ЗАКОНЕ ГУКА, СЖИМАЕМОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТЕ ТЕРМИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

Бертяев Б. И., Реут И. И.

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия
enterfax@mail.ru

Предложено уравнение состояния позволяющее представить в явном виде сжимаемость и объёмный коэффициент термического расширения. Установлена связь модуля всестороннего сжатия с симметрией кристаллической решётки. Выполнен расчёт величин внутреннего давления в металлах с ОЦК и ГЦК решётками.

Уравнение состояния допускает возможность рассчитать такие величины, как объемный коэффициент термического расширения β и модуль всестороннего сжатия K согласно определению:

$$\beta = 3\alpha = \frac{1}{V} \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P , \tag{1}$$

где α – линейный коэффициент теплового расширения. Объемная упругость или сжимаемость B:

$$B = \frac{1}{K} = -\frac{1}{V} \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T . \tag{2}$$

Из (1) и (2) следует связь вида:

$$\beta \cdot K = \frac{\partial P}{\partial T}. \tag{3}$$

Отсутствие возможности адекватного описания кристаллических систем в рамках решеточной модели служит достаточным основанием разработки теоретической модели уравнения состояния.

1. Уравнение состояния кристаллической системы

В работе [1] предложено уравнение состояния вида:

$$\frac{\Delta \upsilon}{\upsilon_0} = \varsigma = \left(\exp \frac{P\upsilon}{kT} - 1 \right)^{-1} , \tag{4}$$

где υ_0 – объем, занимаемый атомом при $T = 0$, $\upsilon = V/M$ – объём на атом при температуре T, ς – относительная доля свободного объема (ОДСО), k – постоянная Больцмана, P – внутреннее давление в системе. Из уравнения (4) можно получить сжимаемость B и объёмный коэффициент термического расширения β.

Если малое изменение относительной доли свободного объема $d\varsigma$, представить в виде: