

Оценив по акустическому изображению размер зерна, можно определить критическое значение предела прочности $\sigma_{0,2}$. Полученные тренды экспериментальных зависимостей величин позволяют находить экстремальные значения параметров воздействия на образец.

Методы АМД позволяют оценить как толщину приповерхностных слоёв, получаемых при внешних воздействиях (рис.6), а также рассчитать влияние диффузионных процессов (рис.7) на структуру материалов (в том числе от времени).

Таким образом, диагностика и контроль свойств материалов с использованием методов акустомикроскопической дефектоскопии позволяет существенно повысить эффективность выявления и характеристики предельных состояний материалов. Безусловно, исследования в этой области необходимо продолжить.

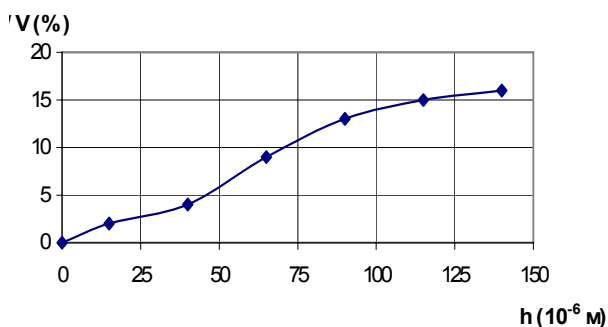


Рис. 6. Зависимость затухания акустических волн ($\Delta V/V\%$) в стали 40ХН от глубины зондирования (h).

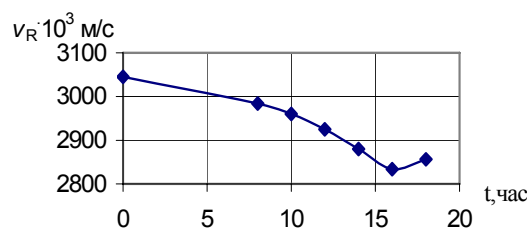


Рис. 7. Зависимость скорости ПАВ в стали 30ХГТ от времени цементации

Список литературы

1. Kustov A.I., Migel I.A. Investigation of physicomaterial characteristics of glasses by acoustic waves// Glass Physics and Chemistry, 1996, v.22, N 3., p.245-247
2. Wilson R.G., Weglein R.D. // Appl. Phys. 1994. V. 55. N 9. P. 3261 —3275.
3. Kustov A.I //Proceedings of VIII Inter. Conf. “Hydrogen Materials Science and Chemistry of Carbon Nanomaterials”, Science Series, II. Physics and Chemistry, ed. Dm.Schur, vol. 72. 2004. p.203-215
4. Kustov A.I., Migel I.A. // Materials of the V International scientific conference “Strength and fracture of materials and constructions”, Orenburg, 2008, vol.1, p.p.200-206.
5. Кустов А.И., Мигель И.А.. // Материаловедение, №2 (155), 2010, с.9 – 14.

ЭФФЕКТИВНЫЕ ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ТРЕХСЛОЙНЫХ МИКРОПОЛЯРНЫХ УПРУГИХ ПЛАСТИН

Саркисян С. О., Фарманян А. Ж.

*Гюмрийский государственный педагогический институт им. М. Налбандяна,
Гюмри, Армения, afarmanyan@yahoo.com*

В работе с использованием качественных результатов асимптотического метода интегрирования граничной задачи микрополярной упругой слоистой среды, формулируются гипотезы, на основе которых в зависимости от значений безразмерных физических параметров построены прикладные теории микрополярных трехслойных симметрично собранных пластин с независимыми полями перемещений и вращений; со стесненным вращением; «с малой сдвиговой жесткостью».

Введение

В работе [1], на основе метода гипотез, который имеет асимптотическое подтверждение [2], в зависимости от значений физических безразмерных параметров, построены общие прикладные двумерные теории микрополярных упругих тонких пластин с независимыми полями перемещений и вращений; со стесненным вращением; “с малой сдвиговой жесткостью”. В построенных теориях микрополярных упругих пластин полностью учитываются поперечные сдвиговые и родственные им деформации.

1. Постановка задачи

Пусть имеется трехслойная пластинка, составленная из однородных изотропных микрополярных упругих слоев, симметрично расположенных относительно среднего слоя. Примем срединную плоскость среднего слоя за плоскость x_1x_2 . Будем исходить для каждого из слоев пластинки из основных уравнений пространственной статической задачи линейной микрополярной теории упругости с независимыми полями перемещений и вращений [2]:

Уравнения равновесия:

$$\sigma_{mn,n}^{(s)} = 0, \quad \mu_{mn,n}^{(s)} + \varepsilon_{nmk} \cdot \sigma_{mk}^{(s)} = 0 \quad (1.1)$$

Физические соотношения:

$$\begin{aligned} \sigma_{mn}^{(s)} &= (\mu^{(s)} + \alpha^{(s)}) \gamma_{mn}^{(s)} + (\mu^{(s)} - \alpha^{(s)}) \gamma_{nm}^{(s)} + \lambda^{(s)} \cdot \gamma_{kk}^{(s)} \cdot \delta_{nm} \\ \mu_{mn}^{(s)} &= (\gamma^{(s)} + \varepsilon^{(s)}) \chi_{mn}^{(s)} + (\gamma^{(s)} - \varepsilon^{(s)}) \chi_{nm}^{(s)} + \beta^{(s)} \cdot \chi_{kk}^{(s)} \cdot \delta_{nm} \end{aligned} \quad (1.2)$$

Геометрические соотношения:

$$\gamma_{nm}^{(s)} = \nu_{m,n}^{(s)} - \varepsilon_{kmn} \cdot \omega_k^{(s)}, \quad \chi_{nm}^{(s)} = \omega_{m,n}^{(s)}. \quad (1.3)$$

Здесь σ_{mn}, μ_{mn} – компоненты несимметричных тензоров силового и моментного тензоров напряжений; γ_{mn}, χ_{mn} – компоненты тензоров деформаций и изгиб-кручений, ν_n, ω_n – компоненты векторов перемещения и независимого поворота точек тела; $\lambda, \mu, \alpha, \beta, \gamma, \varepsilon$ – упругие постоянные материала слоя; s – номер слоя.

На лицевых плоскостях пакета для граничных условий будем считать заданными силовые и моментные напряжения, на боковой поверхности пластинки, они зависят от способа приложения внешней нагрузки или закрепления ее точек. Будем считать, что имеют место условия полного контакта

Будем исходить из следующей основной концепции: в статическом случае общее напряженно-деформированное состояние (НДС) тонкой трехслойной пластинки состоит из внутреннего НДС, охватывающего всю область трехмерной пластинки и пограничных слоев, локализирующихся вблизи боковой поверхности пакета пластинки. Построение общей двумерной модели микрополярных упругих трехслойных пластин тесно связано с построением внутренней задачи.

Считая, что метод гипотез, наряду с чрезвычайной наглядностью, очень быстро и относительно просто для инженерной практики приводит к окончательным результатам, будем построить модель микрополярной упругой многослойной пластинки на основе метода гипотез. Сами гипотезы будем формулировать на основе результата асимптотического анализа краевой задачи (1.1)–(1.3) в тонкой пространственной области пластинки [1,2].

При определении внутреннего НДС (так и краевого НДС) большую роль играют значения физических констант материала слоев пластинки, с этой точки зрения вводим следующие безразмерные физические параметры:

$$\frac{\mu^{(s)}}{\alpha^{(s)}}, \quad \frac{a^2 \mu^{(s)}}{\beta^{(s)}}, \quad \frac{a^2 \mu^{(s)}}{\gamma^{(s)}}, \quad \frac{a^2 \mu^{(s)}}{\varepsilon^{(s)}}. \quad (1.4)$$

2. Математическая модель микрополярных упругих симметрично собранных трехслойных тонких пластин

Рассмотрим случай, когда безразмерные физические параметры (1.4) многослойной пластинки принимают значения

$$\frac{\mu^s}{\alpha^s} \sim 1, \quad \frac{a^2 \mu^{(s)}}{\beta^{(s)}} \sim 1, \quad \frac{a^2 \mu^{(s)}}{\gamma^{(s)}} \sim 1, \quad \frac{a^2 \mu^{(s)}}{\varepsilon^{(s)}} \sim 1. \quad (2.1)$$

Качественные результаты исходного приближения асимптотического метода интегрирования краевой задачи (1.1)–(1.3) пластинки [1,2] позволяют в основу построения двумерной модели микрополярно-упругих трехслойных тонких пластин с независимыми полями перемещений и вращений формулировать следующие достаточно общие предположения (гипотезы):

а) в процессе деформации прямолинейные и нормальные к исходной плоскости пластинки волокна свободно поворачиваются как жесткое целое на некоторый угол, не изменяя при этом своей длины и не оставаясь перпендикулярным к деформированной исходной плоскости. Это означает, что перемещения $v_i^{(s)}, v_3^{(s)}$ и свободные повороты $\omega_i^{(s)}, \omega_3^{(s)}$ распределены по толщине пакета пластинки по линейному закону, следующим образом:

$$v_i^{(s)} = x_3 \psi_i(x_1, x_2), \quad v_3^{(s)} = w(x_1, x_2), \quad \omega_i^{(s)} = \Omega_i(x_1, x_2), \quad \omega_3^{(s)} = x_3 \cdot \iota(x_1, x_2) \quad (2.2)$$

где ψ_i – полные углы поворота, а Ω_i – некоторые свободные повороты нормального элемента; w – перемещение точек исходной плоскости пластинки в направлении x_3 ; ι – интенсивность свободного поворота ω_3 вдоль оси x_3 ($i=1,2$).

Кинематические гипотезы (2.2) относительно перемещений, это по сути дела, представляют собой для всего пакета пластинки известные гипотезы Тимошенко в классической теории пластин. Кинематические гипотезы (2.2) в целом можем трактовать как обобщенные гипотезы Тимошенко в микрополярной теории трехслойных пластин;

б) нормальные силовые напряжения, действующие на площадках, параллельных площадкам исходной плоскости, пренебрежимо малы по сравнению с другими компонентами тензора силовых напряжений;

в) при определении деформаций, изгиба-кручений, силовых и моментных напряжений, для силовых напряжений σ_{3i} и моментного напряжения μ_{33} сначала примем

$$\sigma_{3i}^{(s)} = \sigma_{3i}^{(s)}(x_1, x_2), \quad \mu_{33}^{(s)} = \mu_{33}^{(s)}(x_1, x_2) \quad (2.3)$$

После определения указанных величин, окончательно, значения $\sigma_{3i}^{(s)}$ и $\mu_{33}^{(s)}$ определим, соответственно, как сумму значения (2.3) и результата интегрирования либо первых двух уравнений из (1.1), либо шестого из (1.1) уравнения равновесия, для которых потребуем условия, чтобы усредненные по толщине каждого слоя пластинки величины были равны нулю.

Основная система уравнений общей теории изгибной деформации микрополярных упругих трехслойных тонких пластин с независимыми полями перемещений и вращений будет выражаться так:

Уравнения равновесия:

$$\begin{aligned} \frac{\partial N_{13}}{\partial x} + \frac{\partial N_{23}}{\partial y} &= -[p_3^+ - p_3^-] \\ \frac{\partial L_{11}}{\partial x} + \frac{\partial L_{21}}{\partial y} + N_{23} - N_{32} &= -[m_1^+ - m_1^-]; \quad \frac{\partial L_{12}}{\partial x} + \frac{\partial L_{22}}{\partial y} + N_{32} - N_{23} = -[m_2^+ - m_2^-] \\ N_{31} - \frac{\partial M_{11}}{\partial x} - \frac{\partial M_{21}}{\partial y} &= h[p_1^- + p_1^+]; \quad N_{32} - \frac{\partial M_{12}}{\partial x} - \frac{\partial M_{22}}{\partial y} = h[p_2^- + p_2^+] \\ L_{33} - \frac{\partial \Lambda_{13}}{\partial x} - \frac{\partial \Lambda_{23}}{\partial y} + M_{21} - M_{12} &= h[m_3^- + m_3^+] \end{aligned}$$

Физические соотношения:

$$\begin{aligned} N_{13} &= \left[\sum_{s=1}^3 \frac{h_s}{h} (\mu_s + \alpha_s) \right] \Gamma_{13} + \left[\sum_{s=1}^3 \frac{h_s}{h} (\mu_s - \alpha_s) \right] \Gamma_{31} \quad (1 \rightarrow 2); \\ N_{31} &= \left[\sum_{s=1}^3 \frac{h_s}{h} (\mu_s + \alpha_s) \right] \Gamma_{31} + \left[\sum_{s=1}^3 \frac{h_s}{h} (\mu_s - \alpha_s) \right] \Gamma_{13} \quad (1 \rightarrow 2); \\ L_{12} &= \left[\sum_{s=1}^3 \frac{h_s}{h} (\gamma_s + \varepsilon_s) \right] k_{12} + \left[\sum_{s=1}^3 \frac{h_s}{h} (\gamma_s - \varepsilon_s) \right] k_{21} \quad (1 \leftrightarrow 2); \\ L_{11} &= \left[\sum_{s=1}^3 2h_s (\beta_s + 2\gamma_s) \right] k_{11} + \left[\sum_{s=1}^3 2h_s \beta_s \right] [k_{22} + \iota] \quad (1 \rightarrow 2); \\ L_{33} &= \left[\sum_{s=1}^3 2h_s (\beta_s + 2\gamma_s) \right] \iota + \left[\sum_{s=1}^3 2h_s \beta_s \right] [k_{11} + k_{22}]; \\ M_{11} &= \left[\frac{2}{3} \sum_{s=1}^n (z_s^3 - z_{s-1}^3) \frac{E_s}{1-\nu_s^2} \right] K_{11} + \left[\frac{2}{3} \sum_{s=1}^n (z_s^3 - z_{s-1}^3) \frac{E_s \nu_s}{1-\nu_s^2} \right] K_{22}; (1 \rightarrow 2); \\ M_{21} &= \left[\sum_{s=1}^3 \frac{2}{3} (z_s^3 - z_{s-1}^3) (\mu_s + \alpha_s) \right] K_{21} + \left[\sum_{s=1}^{n3} \frac{2}{3} (z_s^3 - z_{s-1}^3) (\mu_s - \alpha_s) \right] K_{12} \quad (1 \leftrightarrow 2) \\ \Lambda_{13} &= \left[\sum_{s=1}^3 \frac{2}{3} (z_s^3 - z_{s-1}^3) \frac{4\gamma_s \varepsilon_s}{\gamma_s + \varepsilon_s} \right] l_{13} \quad (1 \rightarrow 2). \end{aligned}$$

Геометрические соотношения:

$$\begin{aligned} \Gamma_{13} &= \frac{\partial w}{\partial x} + \Omega_2, \quad \Gamma_{23} = \frac{\partial w}{\partial y} - \Omega_1, \quad \Gamma_{31} = \Psi_1 - \Omega_2, \quad \Gamma_{32} = \Psi_2 + \Omega_1, \\ k_{11} &= \frac{\partial \Omega_i}{\partial x}, \quad k_{22} = \frac{\partial \Omega_2}{\partial y}, \quad k_{12} = \frac{\partial \Omega_2}{\partial x}, \quad k_{21} = \frac{\partial \Omega_1}{\partial y} \\ K_{11} &= \frac{\partial \Psi_1}{\partial x}, \quad K_{22} = \frac{\partial \Psi_2}{\partial y}, \quad K_{12} = \frac{\partial \Psi_2}{\partial x} - \iota, \quad K_{21} = \frac{\partial \Psi_1}{\partial y} + \iota, \quad l_{13} = \frac{\partial \iota}{\partial x}, \quad l_{23} = \frac{\partial \iota}{\partial y}. \end{aligned} \quad (2.6)$$

Здесь N_{i3}, N_{3i} – усилия; $M_{ii}, M_{ij}, L_{ii}, L_{ij}, L_{33}$ – моменты от силовых и моментных напряжений; Λ_{i3} – гипермоменты от моментных напряжений μ_i ($i=1,2, i \neq j$).

К системе уравнений (2.4)–(2.6) микрополярных упругих трехслойных пластин граничные условия на граничном контуре срединной пластинки (при $x_1 = 0$):

$$\begin{aligned} M_{11} = M_{11}^* \quad \text{или} \quad k_{11} = k_{11}^*, \quad M_{12} = M_{12}^* \quad \text{или} \quad k_{12} = k_{12}^*, \quad N_{13} = N_{13}^* \quad \text{или} \quad w = w^* \\ L_{11} = L_{11}^* \quad \text{или} \quad k_{11} = k_{11}^*, \quad L_{12} = L_{12}^* \quad \text{или} \quad k_{12} = k_{12}^*, \quad \Lambda_{13} = \Lambda_{13}^* \quad \text{или} \quad l_{13} = l_{13}^*. \end{aligned} \quad (2.7)$$

Отметим, что в математической модели (2.4)–(2.7) микрополярных упругих трехслойных пластин с независимыми полями перемещений и вращений, полностью учитывались поперечные сдвиговые и родственные им деформации.

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 прочностные свойства микрополярных материалов.

Это система 12-го порядка с 6-ю граничными условиями на каждом крае срединной плоскости пластины. 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:

$$P_{ms} = \frac{\sigma_f}{\sigma_{11}^{in}}, \quad (1)$$

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

$$\sigma_f = k_v k_e R_{MC}, \quad (2)$$

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 ини-