

UDC 548/4

INTERNAL STRESSES WITH THE LOGARITHMIC COORDINATE DEPENDENCE

Nikolay M. Vlasov

RESC MSOU

142114, Podolsk, Moscow region, Russia K.Gotvald street, st. 2/40

The doctor of technical sciences, Professor

E-mail: chelyapina@pochta.ru

The analysis of diffusion kinetics in the presence of internal stress with the logarithmic dependence on the coordinates is shown in the article.

Keywords: thermal stresses, diffusion kinetics, logarithmic dependence, temperature deformation, impurity aggregation.

Внутренние напряжения с логарифмической зависимостью от координат имеют единое математическое описание. Применение принципа суперпозиции позволяет описывать совместное действие внутренних напряжений различной физической природы. Потенциал взаимодействия атома примеси с полем внутренних напряжений определяется известным соотношением [1]

$$V = -\frac{\sigma_{II}}{3} \delta v, \quad (1)$$

где σ_{II} – первый инвариант тензора внутренних напряжений, δv – изменение объёма материала при размещении атома примеси. Величина внутренних напряжений, в частности температурных, в поломом цилиндре при стационарном распределении температуры логарифмически зависит от радиальной координаты [2]

$$\sigma_{II} = \frac{2\alpha\mu(1+\nu)(T_1 - T_2)}{1-\nu} \left\{ \frac{1 + 2\ln\frac{r}{R}}{\ln\frac{R}{r_0}} + \frac{2r_0^2}{R^2 - r_0^2} \right\}, \quad (2)$$

где α – коэффициент линейного расширения, μ – модуль сдвига, ν – коэффициент Пуассона, r_0 и R – внутренний и внешний радиусы полого цилиндра, T_1 и T_2 – значения температуры на внутренней и внешней поверхностях цилиндра ($T_1 > T_2$).

Образование остаточных напряжений в поломом цилиндре осуществляют следующим образом. Берега разреза полого цилиндра смещают относительно друг друга на угол ω и помещают туда недостающий материал. При такой операции внутренняя область полого цилиндра находится в состоянии растяжения, а внешняя – в состоянии сжатия, σ_{II} определяется из выражения [3]

$$\sigma_{II} = \frac{\omega\mu(1+\nu)}{2\pi(1-\nu)} \left\{ \frac{1 + 2\ln\frac{r}{R}}{\ln\frac{R}{r_0}} + \frac{2r_0^2}{R^2 - r_0^2} \right\}, \quad (3)$$

где ω – угол раскрытия берегов разреза полого цилиндра. Остальные обозначения соответствуют принятым ранее. С точностью до постоянных соотношения (2) и (3) совпадают. Это позволяет использовать единый подход к описанию внутренних напряжений различной физической природы.

Рассмотрим диффузионную кинетику в поломом цилиндре с учетом остаточных напряжений. Задача математически формулируется так

$$\frac{1}{D} \frac{\partial C}{\partial t} = \Delta C + \frac{\nabla C \nabla V}{KT}, r_0 < r < R, \quad (4)$$

$$C(r, 0) = C_0, \quad C(r_0, t) = C_p^1, \quad C(R, t) = C_p^2,$$

где D – коэффициент диффузии атомов примеси, C_0 – исходная концентрация атомов примеси, C_p^1 и C_p^2 – равновесные концентрации примесных атомов на поверхностях полого цилиндра, k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура. С учётом потенциала V для остаточных напряжений задача (4) принимает более простой вид

$$\frac{1}{D} \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{1+\beta}{r} \frac{\partial C}{\partial r}, r_0 < r < R,$$

$$C(r, 0) = C_0, \quad C(r_0, t) = C_p^1, \quad C(R, t) = C_p^2, \quad (5)$$

$$\beta = \frac{\omega \mu (+v) \delta v}{3\pi (-v) KT}.$$

Безразмерный параметр β определяет отношение энергии связи атома примеси с полем остаточных напряжений к энергии теплового движения. Для $\beta = -1$ получим весьма простой вариант задачи (5)

$$\frac{1}{D} \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial^2 C}{\partial r^2}, r_0 < r < R,$$

$$C(r, 0) = C_0, \quad C(r_0, t) = C_p^1, \quad C(R, t) = C_p^2, \quad (6)$$

Видно, что остаточные напряжений с логарифмической зависимостью от координат изменяют симметрию уравнения диффузии. Кинетика примесных агрегаций в полом цилиндре протекает по закону для полосы. Это существенно ускоряет формирование концентрационного профиля из атомов примеси.

Примечания:

1. Теодосиу К. Упругие модели дефектов в кристаллах. Пер. с англ., М.: Мир, 1985. 351 с.
2. Власов Н.М., Зазноба В.А. Термодиффузия водорода в цирконии с учетом термонапряжений. ЖТФ, 2009. Т. 79. Вып. 5. С. 49–53.
3. Власов Н.М., Федик И.И. Расслоение твердого раствора в поле остаточных напряжений. ДАН, 2001. Т. 382. №2. С. 186–189.

УДК 548/4

ВНУТРЕННИЕ НАПРЯЖЕНИЯ С ЛОГАРИФМИЧЕСКОЙ КООРДИНАТНОЙ ЗАВИСИМОСТЬЮ

Николай Михайлович Власов

РОНЦ МГОУ, Подольск, Россия.

Доктор технических наук, профессор

142114, г. Подольск, Московская область, Россия, ул. К. Готвальда, зд.2/40

E-mail: chelyarina@pochta.ru

В данной статье рассмотрен анализ диффузионной кинетики при наличии внутренних напряжений с логарифмической зависимостью от координат.

Ключевые слова: температурные напряжения, диффузионная кинетика, логарифмическая зависимость, температурная деформация, агрегация примесей.