

Н. М. В л а с о в, И. И. Ф е д и к (Подольск, НИИ НПО «Луч»). **Аналитическое решение краевых задач диффузионной кинетики.**

Внутренние напряжения различной физической природы оказывают существенное влияние на кинетику диффузионных процессов. Это приводит к изменению физико-механических и прочностных характеристик материала элементов конструкций современной техники. Внутренние напряжения в реальных конструкциях имеют сложную координатную зависимость, что вызывает математические трудности при решении краевых задач диффузионной кинетики. Приятным исключением из общего правила являются внутренние напряжения с логарифмической координатной зависимостью. Такая зависимость позволяет получать аналитическое решение краевых задач диффузии. Математическая простота решения обусловлена тем, что в цилиндрической системе координат логарифмическая функция является гармонической, а ее градиент обратно пропорционален радиальной координате. Целью настоящего сообщения является рассмотрение внутренних напряжений в механике сплошной среды, которые допускают получение аналитического решения краевых задач диффузионной кинетики [1], [2]. В качестве иллюстративного примера рассматривается полый цилиндр, для которого задача диффузии атомов примеси математически формулируется следующим образом:

$$\frac{1}{D} \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial C}{\partial r} + \frac{\nabla(C \nabla V)}{kT}, \quad r_0 < r < R,$$

$C = C_0$ при $t = 0$, $C = C_p^1$ при $r = r_0$, $C = C_p^2$ при $r = R$, где D — коэффициент диффузии атомов примеси, r_0 и R — внутренний и внешний радиусы полого цилиндра, k — постоянная Больцмана, T — абсолютная температура, C_0 — средняя концентрация атомов примеси, C_p^1 и C_p^2 — равновесные концентрации атомов примеси на границах полого цилиндра. Энергия связи атома примеси с полем внутренних напряжений определяется из выражения $V = -(\sigma_{II}/3)\delta v$, где σ_{II} — первый инвариант тензора внутренних напряжений, δv — изменение объема материала при размещении атома примеси.

Анализ полученных соотношений показывает, что атомы примеси большого атомного радиуса (по отношению к основному материалу) мигрируют в область напряжений растяжения, а примеси малого атомного радиуса — в область напряжений сжатия. Так происходит расслоение твердого раствора в поле внутренних напряжений. Если концентрация атомов примеси превышает предел растворимости при данной температуре, то образуются новые фазы. Их дальнейший рост осуществляется вследствие диффузионной миграции атомов примеси в поле внутренних напряжений. Аналитическое решение краевых задач диффузионной кинетики служит тестовым примером при математическом моделировании массопереноса в конструктивных схемах с более сложной координатной зависимостью полей напряжений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов Н. М., Федик И. И. Диффузия примесей внедрения через цилиндрическую оболочку с остаточными напряжениями. — Докл. АН, 2002, т. 384, № 3, с. 324–327.
2. Власов Н. М., Федик И. И. Расслоение твердого раствора в поле остаточных напряжений. — Докл. АН, 2002, т. 382, № 2, с. 186–189.