



НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
ИМ. З.И. НЕКРАСОВА

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Сборник научных трудов

ВЫПУСК 28

2014

О.М.Перков, І.О.Вакуленко

ОГЛЯД ДИСЛОКАЦІЙНИХ МЕХАНІЗМІВ ВНУТРІШНЬОГО ТЕРТЯ

Институт черной металлургии НАН Украины

Проаналізовано теорії щодо дислокаційних механізмів внутрішнього тертя в металах. Знання цього показника є необхідним для вирішування різних задач фізики твердого тіла і фізичного металознавства та дає уяву про розсіювання енергії коливань і магнітні втрати при фазових перетвореннях в неоднорідних матеріалах.

Ключові слова: метали, внутрішнє тертя, розсіювання енергії

Мета роботи. Огляд наукових теоретичних праць про дислокаційні механізми внутрішнього тертя в металах.

Стан питання. Дислокація являє собою достатньо складний дефект структури. Рух дислокацій пов'язаний з великими обмеженнями, тому що дислокація завжди повинна бути безперервною лінією (замкнутою або лінією, яка виходить на поверхню кристалу).

Є три основних види руху дислокацій: 1) коливальний рух між канавками рельєфу потенціалу кристалічної решітки; 2) ковзання (консервативний рух) в площині ковзання з однією потенціальної канавки в іншу; 3) переповзання (не консервативний рух) – переміщення дислокації з однієї площини ковзання в іншу.

Направлений рух дислокацій викликано прикладеними до кристалу зусиллями. Прикладені в площині ковзання сили при русі дислокації виконують роботу, одна частина якої витрачається на збільшення кінетичної енергії дислокації, інша - розсіюється в коливаннях решітки. Розсіювання енергії рухомої дислокації навіть в ідеальній решітці може відбуватися за допомогою різних механізмів.

Механізми внутрішнього тертя. Келера-Гранато-Люкке (КГЛ) [1]. До прикладення сил чистий монокристал при температурі 0°K вміщає сітку крайових дислокацій. При введенні невеликої кількості домішок відбувається додаткове закріплення дислокаційних відрізків. Отож, є дві характеристичні довжини відрізків: L_N – визначається сіткою, L_c – визначається домішками.

Для малих амплітуд деформації, коли відриву дислокаційних відрізків від місць закріплення не відбувається і відрізок L_c коливається як струна [1],

$$Q_I^{-1} = \frac{\Delta_0 \Lambda^2}{\pi} \cdot \frac{1 - F^2}{(1 - F^2)^2 + \frac{F^2}{D^2}}, \quad (1)$$

де $\Delta_0 = \frac{8G\epsilon^2}{\pi^3 c}$; Λ - загальна довжина коливних відрізків в кубі одиничних розмірів; L - середня відстань між місцями закріплення

$$\left(\frac{1}{L} = \frac{1}{L_c} + \frac{1}{L_N} \right); \quad F = \frac{\omega}{\omega_0}; \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{\pi c}{AL_c}}; \quad C = \frac{2G\epsilon^2}{\pi(1-\nu)};$$

$$A = \pi \rho \epsilon^2; \quad D = \frac{\omega_0 \cdot A}{B}$$

де G - модуль зсуву; ϵ - вектор Бюргерса; ν - коефіцієнт Пуассона; ρ - щільність матеріалу; B - коефіцієнт, що визначає розмір демпфіруючої сили на одиницю довжини дислокації. З (1) втрати мають резонансний характер. Вони максимальні поблизу резонансної частоти, яка рівняється $\omega_p \approx \omega_0$.

Якщо $\omega \ll \omega_0$, то рівняння (1) спрощується:

$$Q_I^{-1} \approx \frac{\Delta_0 \Lambda}{\pi} \cdot \frac{\omega \tau}{1 + \omega^2 \tau^2}, \quad (2)$$

$$\text{де } \tau = \frac{BL^2}{\pi^2 c}.$$

Проте залежність τ від температури має не експоненціальний характер. Температурна залежність τ визначається головним чином допустимою залежністю B .

Під впливом великих напружень дислокації можуть відриватися від закріплюючих їх домішок. Напруга, при якій відбувається відрив, пропорційна силі зв'язку атому з дислокацією f_m і зворотно пропорційна відстані від даного місця закріплення до сусіднього. Тому процеси відриву мають лавиноподібний характер, тобто при напрузі, достатньої для відриву від одного домішкового атому, визволяється уся ділянка L_N . Коли відбувається процес відриву, розподіл дислокацій по відстаням $N(\ell)$ змінюється, і, таким чином, воно являється функцією прикладеної напруги.

Автори праці [2] намагалися змінити теорію КГЛ, зробити її гідною для температур вище 0°K . Вони докладно роздивилися відрив дислокацій від чужорідних атомів під впливом термічних флуктуацій і показали, що для кожної температури є критична напруга, нижче якої не відбувається термічний відрив дислокацій. У цьому випадку відбувається щось середнє між "релаксацією" і статичним гістерезисом.

Ковзання дислокацій. Гнучка крайова дислокація може переміщатися з однієї канавки потенційного рельєфу в іншу і при навантаженнях,

менших напруги Пайерлса, шляхом утворення на дислокаціях перегинів. Дислокаційні перегини, що утворилися, притягуються, тому така конфігурація може знаходитися в рівновазі (нестійкій) тільки під впливом зовнішньої напруги зсуву σ . На утворення перегинів витрачається енергія, тобто цей процес супроводжується розсіюванням енергії механічних коливань. Максимум внутрішнього тертя, зумовлений дією цього механізму, виникає тоді, коли частота виникнення перегинів дорівнюється частоті коливань образчика.

Переповзання дислокацій. У віддалених кристалах дислокації звичайно відбудовуються в стінки, утворюючи блокову структуру. Під впливом зовнішніх напружень така рівноважна конфігурація дислокацій порушується, дислокації переміщуються. При цьому в випадку низьких температур вони переміщуються в площинах ковзання, а у випадку підвищення температур буде спостерігатися їх переповзання. Переповзання дислокацій призведе до дифузійно-в'язкої повзучості кристалевих тіл і створює значний вклад в високотемпературний фон внутрішнього тертя.

Висновки. В праці [3] враховано вплив кінцевої щільності дислокацій в міжблоковій стінці і взаємодію між ними на потужність випромінювання вакансій одиницею поверхні межі блоку. Досліди показали [4], що чим досконаліший кристал, тим менше рівень фону. З цього слідує, що високотемпературний фон дійсно пов'язаний з неконсервативним рухом дислокацій, а функція розподілу $\psi(\tau_\infty) = \alpha \tau_\infty^{n-1}$ скоріше за все визначає простір розподілу дислокацій [5].

1. Granato A., Lucke K. – J.Appl. Phys., 1996, 27, 583.
2. Tentonico L.J., Granato A.V., Lucke K. – J.Appl. Phys., 1994, 35, 220.
3. Федоров Ю.А., Дармиский Б.М. – ФХОМ, 1987. № 3, 43.
4. Постников В.С., Косилов А.Т., Аммер С.А. – ФТТ, 1987, 9, 1547.
5. Постников В.С. Механизмы внутреннего трения в металлах. Внутреннее трение в металлических материалах. М., Наука, 1990. – С.7-25.

Статья рекомендована к печати
канд.техн.наук А.И.Бабаченко

О.М.Перков, И.А.Вакуленко

Обзор дислокационная механизмов внутреннего трения

Проанализированы теории относительно дислокационных механизмов внутреннего трения в металлах. Знание этого показателя необходимо для решения различных задач физики твердого тела и физического металловедения и дает представление о рассеянии энергии колебаний и магнитные потери при фазовых превращениях в неоднородных материалах.

Ключевые слова: металлы, внутреннее трение, рассеяние энергии

O.M.Perkov, I.A.Vakulenko

Overview dislocation internal friction

Analyzed with respect to the theory of dislocation internal friction in metals. Knowledge of this indicator is necessary for solving various problems of solid state physics and physical metallurgy and gives an idea of the scattering of the oscillation energy and magnetic losses in phase transformations in inhomogeneous materials **Keywords: metal, internal friction, energy dissipation**