

УДК 548.24

О.М. ОСТРИКОВ

КИНЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД В МОДЕЛИ ЕДИНИЧНЫХ ДВОЙНИКОВ КЛИНОВИДНОЙ ФОРМЫ

На основе известных экспериментальных данных впервые предложена модель, описывающая кинетику развития единичного некогерентного двойника клиновидной формы. Впервые получены кинетические уравнения для единичного двойника. Модель позволила вывести соотношения для расчета длительности процесса развития двойника и нормальной скорости его роста. Установлено, что время формирования единичного двойника прямо пропорционально мощности источника двойникующих дислокаций и обратно пропорционально скорости генерации двойникующих дислокаций. Нормальная скорость роста двойника связана со временем по экспоненциальному закону.

Введение

В настоящее время интерес к двойникованию возрос в связи с исследованием физических свойств материалов с памятью формы [1] – [3]. Это свойство памяти формы полностью обеспечивается родственным двойникованию явлением, называемым бездиффузионным фазовым мартенситным превращением. Процессы на границе раздела мартенсита и аустенита аналогичны процессам на двойниковой границе. Поэтому в приближении равенства модулей упругости мартенсита и аустенита, как и в случае приближения изотропности среды по обе стороны двойниковой границы, для количественного описания явления памяти формы с успехом может быть использована теория двойникования [4].

При своем развитии двойники проходят стадию клиновидной или линзовидной формы [5]. При этом линзовидную форму, как это было показано в работе [4], можно представить совокупностью двух клиновидных двойников одинаковой ширины у устья и развивающихся из одной точки в противоположных направлениях. Таким образом, исследование клиновидной формы двойников является общим случаем, который может быть применен в случае линзовидного двойника. Рост двойников существенно зависит от процесса генерации частичных двойникующих дислокаций. Этот процесс имеет много общего с кинетическими, например, химическими реакциями и может быть описан аналогичными уравнениями [6]. Поэтому целью работы является обоснование математической модели процесса генерации двойникующих дислокаций.

Основная часть

Представим процесс генерирования двойникующих дислокаций как параллельную кинетическую реакцию, протекающую на двух двойниковых границах (рис. 1). Предположим, что в деформируемом твердом теле активировался источник двойникующих дислокаций, который испускает

N_n двойникующих дислокаций. Эти дислокации сформировали две двойниковые границы. При этом на формирование первой границы расходовалось N_1 дислокаций источника, а на образование второй границы – N_2 двойникующих дислокаций.

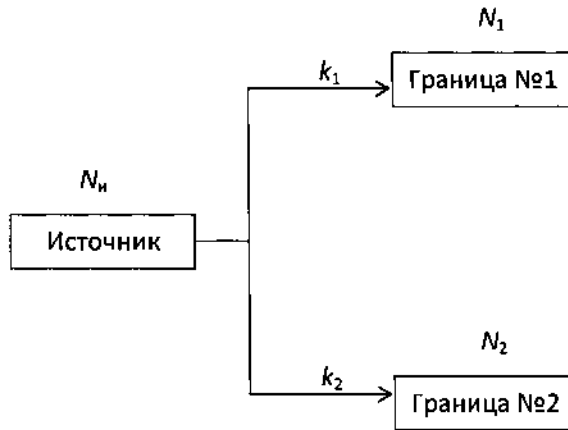


Рис. 1. Схематическое изображение параллельной кинетической реакции развития двойника клиновидной формы

Такой процесс можно описать следующей системой кинетических уравнений (по аналогии с [6]):

$$\begin{cases} \frac{dN_n}{dt} = -(k_1 + k_2)N_n \\ \frac{dN_1}{dt} = k_1N_n + \alpha_1N_1 + \beta_1N_1^{3/2} - \gamma_1N_1^2 \\ \frac{dN_2}{dt} = k_2N_n + \alpha_2N_2 + \beta_2N_2^{3/2} - \gamma_2N_2^2 \end{cases}, \quad (1)$$

где t – время, а k_1 и k_2 имеют физический смысл скоростей генерации двойникующих дислокаций на первой и второй границе двойника соответственно; α_1 и α_2 – коэффициенты размножения двойникующих дислокаций на неоднородностях структуры у первой и второй границы двойника соответственно; β_1 и β_2 – коэффициенты размножения двойникующих дислокаций на первой и второй двойниковой границе; γ_1 и γ_2 – коэффициенты аннигиляции двойникующих дислокаций на первой и второй границе двойника соответственно.

Систему уравнений (1) для бесконечно большого количества дислокаций аналогичным образом можно записать не для числа, а для плотности двойникующих дислокаций и их источников. Пренебрегая процессами размножения двойникующих дислокаций на двойниковых границах и на неоднородностях структуры кристалла, а также процессом анниги-

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Giant magnetic-field-induced strain in NiMnGa seven-layered martensitic phase / A. Sozinov [et all.] // Appl. Phys. Lett. – 2002. – V. 80. – № 10. – P. 1746–1748.
2. 6% magnetic-field-induced strain by twin-boundary motion in ferromagnetic Ni-Mn-Ga / S.J. Murray [et all.] // Appl. Phys. Lett. – 2000. – V. 77. – P. 886–888.
3. Large magnetic-field-induced strains in Ni₂MnGa single crystals / K. Ullakko [et all.] // Appl. Phys. Lett. – 1996. – V. 69. – P. 1966–1968.
4. **Остриков, О.М.** Механика двойникования твердых тел : монография / О.М. Остриков. – Гомель : УО “ГГТУ им. П.О. Сухого”, 2008. – 301 с.
5. **Солдатов, В.П.** Механизм расширения двойниковой прослойки в кристаллах кальцита / В.П. Солдатов, В.И. Старцев, Н.М. Чайковская // Физика твердого тела. – 1971. – Т. 13. – № 11. – С. 3153–3159.
6. **Стромберг, А.Г.** Физическая химия / А.Г. Стромберг, Д.П. Ссмченко. – М. : Высш. шк., 1988. – 496 с.
7. **Остриков, О.М.** Исследование механического двойникования монокристаллов сурьмы методом наноицентирования / О.М. Остриков, С.Н. Дуб // Инженерно-физический журнал. – 2003. – Т. 76. – № 1. – С. 170–172.
8. **Остриков, О.М.** Учет формы границ клиновидного двойника в его макроскопической дислокационной модели / О.М. Остриков // Физика металлов и металловедение. – 2008. – Т. 106. – № 5. – С. 471–476.
9. **Косевич, А.М.** Дислокационная теория упругого двойникования кристаллов / А.М. Косевич, В.С. Бойко // Успехи физических наук. – 1971. – Т. 104. – № 2. – С. 101–255.
10. **Солдатов, В.П.** Механизм расширения двойниковой прослойки в кристаллах кальцита / В.П. Солдатов, В.И. Старцев, Н.М. Чайковская // Физика твердого тела. – 1971. – Т. 13. – № 11. – С. 3153–3159.