

РАЗМЕР КРИТИЧЕСКОГО СВОБОДНОГО ОБЪЕМА ДЛЯ НАЧАЛА СПОНТАННОГО γ - α МАРТЕНСИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ. 1. АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ДОЛИ ПРЕВРАЩЕННОГО АУСТЕНИТА

Чащина В.Г., Федоровских Е.С., Кащенко М.П.

Руководитель – профессор, д.ф.-м.н. Кащенко М.П.

Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, mikashhenko&yandex. ru

В сплавах на основе железа при охлаждении наблюдается γ - α мартенситное превращение (МП) в некотором интервале температур $M_s - M_f$. Верхняя граница интервала M_s – температура начала МП в условиях отсутствия мартенситных кристаллов, а нижняя граница M_f – в условиях, когда объем исходной фазы заметно уменьшился за счет образования мартенсита. Кроме того, уже в [1] было установлено существование критического размера зерна D_c , ниже которого протекание γ - α МП оказывается невозможным. Имеют место зависимости M_s и D_c от концентрации C второго компонента сплава. В динамической теории γ - α МП [2,3] температура M_s рассматривается как оптимальная для генерации волн смещений атомов, управляющих ростом мартенситного кристалла, неравновесными электронами. Начальный этап формирования кристалла α - фазы интерпретируется как гетерогенное [2,3] зарождение в упругих полях дислокаций. Уже отдельной дислокации достаточно для возникновения областей с благоприятным для зарождения типом деформации [4]. Поперечный размер d начального возбужденного состояния, задающий толщину мартенситного кристалла, связан с размером $L_{св}$ объема, свободного от дефектов, соотношением:

$$d \sim 10^{-2} L_{св}, \quad (1)$$

($L_{св}$ может быть порядка среднего расстояния между дислокациями, мартенситными кристаллами или диаметра зерна D_c). Реализация пороговых условий генерации управляющих волн, скорее всего, возможна для длин волн λ , превышающих параметр решетки аустенита a по порядку величины ($a \approx 3.6 \cdot 10^{-10}$ м). Поскольку $d \leq \lambda / 2$, то, с учетом (1), $L_{\min} \sim (D_c)_{\min} > 10^3 a \approx 0.36$ мкм. Величина $(D_c)_{\min} \sim 1$ мкм соответствует наблюдаемым в сплавах железа результатам для концентраций второго компонента вне окрестности концентрации C^* , задаваемой [5] условиями $D_c(C^*) \rightarrow \infty$, $M_s(C^*) \rightarrow 0$. При $C < C^*$, прекращение МП наступает, если

$$L_{св} \leq L_{\min} \approx 10^3 a \approx 0.36 \text{ мкм}. \quad (2)$$

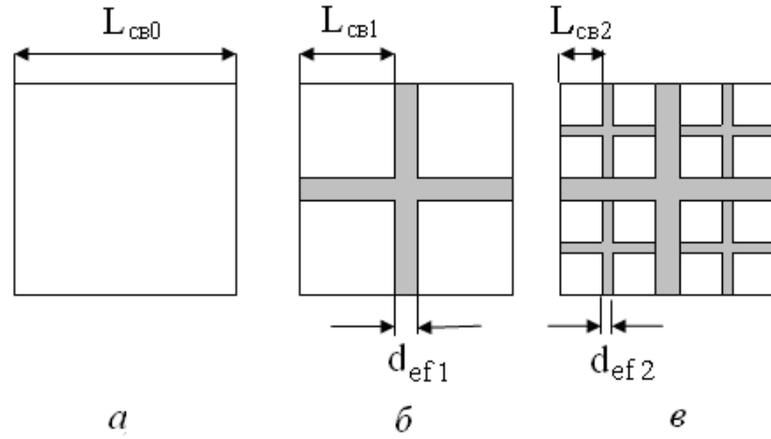


Рис.1. Плоская модель самоподобных ансамблей кристаллов: *a*- исходная фаза, *б*- первое поколение; *в*- второе поколение

В случае быстрой автокаталитической макрокинетики МП, когда имеет место статистическое подобие между последовательно возникающими поколениями (ансамблями) кристаллов, соотношения масштабов (1) и (2) позволяют оценить доли мартенсита δ_M и остаточного аустенита $\delta_A = 1 - \delta_M$ в рамках моделей самоподобных ансамблей. На рис. 1 представлена плоская модель для ортогонального сочленения кристаллов. Число n поколений физически реализуемых самоподобных ансамблей конечно. Эффективная толщина d_{efj} кристалла в j -поколении ($1 \leq j \leq n$) связана с размером $L_{cb(j-1)}$

$$d_{efj} = \kappa d_j = \kappa 10^{-2} L_{cb(j-1)} = \chi L_{cb(j-1)}, \quad \chi = \kappa 10^{-2}, \quad L_{cbj} = \left[\frac{1-\chi}{2} \right]^j L_{cb0}, \quad (3)$$

где $1 \leq \kappa \leq 10^2$, $10^{-2} \leq \chi < 1$. Значения $\kappa \sim 1$ относятся к тонкопластинчатым кристаллам, а $\kappa \sim 10$ - к линзовидным, содержащим, наряду с тонкопластинчатым двойникованным мидрибом, обрамляющую область, существенно превышающую объем мидриба.

В j -ом поколении размер области L_{cbj} , свободной от кристаллов мартенсита, снижается по сравнению с исходным размером L_{cb0} в $\left[\frac{1-\chi}{2} \right]^j$ раз. Для монокристалла аустенита с плотностью дислокаций $\rho \approx 10^4 \text{ см}^{-2}$ величина $L_{cb0} \approx 1/\sqrt{\rho} = 10^{-2} \text{ см} = 10^2 \text{ мкм}$. При заданном L_{min} для числа n реализуемых поколений находим

$$n \leq [\ln (L_{cb0} / L_{min})] / [\ln (2 / (1 - \chi))] \equiv n_{max}, \quad (4)$$

то есть n равно целой части величины n_{max} . Если $C \rightarrow C^*$, то L_{min} и (D_c) растут, тогда при одном и том же L_{cb0} число n будет снижаться.

При расчете δ_M удобно перейти от размерных L_{cbj} и d_{efj} к безразмерным \tilde{L} и \tilde{d} , путем деления на L_{cb0} (при этом $\tilde{L}_{cb0} = 1$, а $0 < \tilde{L}_{cbj} < 1$). Тогда для трехмерного аналога плоской модели δ_M численно совпадает с объемом,

занятым кристаллами n поколений в кубе единичного объема. Находя вклад δ_{Mj} от j -го поколения, нетрудно показать, что

$$\delta_M = \sum_{j=1}^n \delta_{Mj} = 1 - (1 - \chi)^{3n}, \quad \delta_A = 1 - \delta_M = (1 - \chi)^{3n}. \quad (5)$$

Таблица 1

Результаты расчета n и δ_M для трех значений $(L_{св})_{\min}$ при $L_{св0} = 10^2$ мкм

$(L_{св})_{\min}$ n МКМ	$\chi = 0.01$		$\chi = 0.02$		$\chi = 0.1$		$\chi = 0.2$		$\chi = 0.3$	
	n	δ_M	n	δ_M	n	δ_M	n	δ_M	n	δ_M
0.36	8	0.2143	7	0.3457	7	0.8906	6	0.9820	5	0.9953
3.6	4	0.1136	4	0.2153	4	0.7176	3	0.8658	3	0.9596
34	1	0.0297	1	0.0588	1	0.2710	1	0.4880	1	0.6570

Принципиально важно, что расчет макропараметра δ_M осуществлен на основе фундаментального соотношения масштабов (1) и параметров, установленных в [4,5] для процесса формирования отдельного кристалла.

Список литературы

1. Scheil E. Über die Umwandlung des Austenit in geharten Stahle. – Z. anorg. Chem., 1929, 180, S. 1-6.
2. Кащенко М.П. Волновая модель роста мартенсита при γ - α превращении в сплавах на основе железа. Екатеринбург: УИФ “Наука”, 1993. 224 с.
3. Kashchenko M.P. The wave model of martensite growth for the FCC-BCC transformation of iron-based alloys // arXiv: cond-mat/0601569 v3 4 Feb 2006.
4. Кащенко М.П., Чащина В.Г. Динамическая модель формирования двойникованных мартенситных кристаллов при γ - α превращении в сплавах железа. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2009. 98с.
5. Кащенко М.П., Чащина В.Г. Зависимость температуры начала мартенситного превращения от размера зерна/ XLVII Международная конференции “Актуальные проблемы прочности”, 1-5 июля 2008 года, Нижний Новгород: материалы конференции. Часть 1.- Н.Новгород, 2008. С. 237-239.