

ВОЗМОЖНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РЕГУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ ДВОЙНИКОВ ПРЕВРАЩЕНИЯ В ДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ МАРТЕНСИТНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ

Кашенко М.П., Латыпов И.Ф., Чащина В.Г.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

mpk46@mail.ru

В теории мартенситных превращений (МП) в случае γ - α МП в сплавах на основе железа формирование двойниковой структуры (ДС) связывается с согласованным распространением длинноволновых (ℓ) и коротковолновых (s) волн смещений [1, 2].

Согласно [1, 2], условие идеальной синхронизации s - и ℓ -волн имеет вид:

$$v_s = v'_\ell \cos \psi, \quad (1)$$

где v'_ℓ - проекция скорости v_ℓ на плоскость $(001)_\gamma$, а ψ - острый угол между v'_ℓ и v_s , $\parallel \langle 001 \rangle_\gamma$ (см. рис.1).

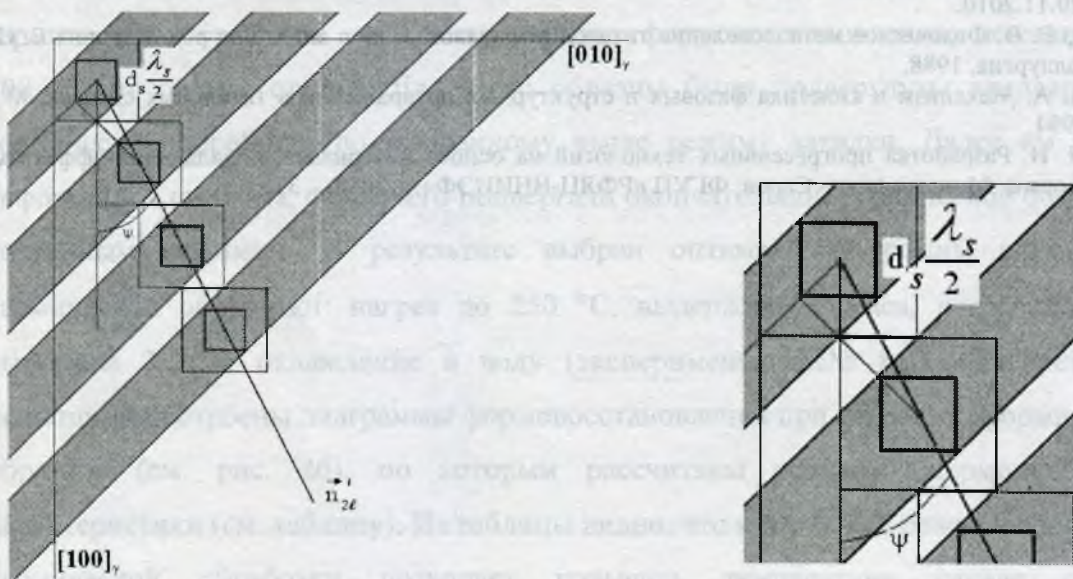


Рисунок 1. Динамическая модель формирования регулярной слоистой структуры с соотношением долей компонент 2/1

Условие образования регулярной ДС требует знания законов дисперсии фононов ϵ_k вдоль $\langle 001 \rangle_\gamma$ -направлений для любых волновых векторов k , так как необходимо сопоставление скоростей ℓ - и s -волн для k_ℓ и k_s , при $k_s \gg k_\ell$. Закон дисперсии ϵ_k вдоль $\langle 001 \rangle_\gamma$ для $0 \leq k \leq k_{\max} = 2\pi/a$ (a - параметр решетки) аппроксимируется (в безразмерных переменных u и x) функцией

$$1 - y = (1 - x)^p, \quad y = \epsilon_k / (\epsilon_k)_{\max}, \quad x = k / k_{\max}. \quad (2)$$

Например, для сплава Fe30Ni с ГЦК решеткой соответствие с экспериментальными данными достигается при $p \approx 1.733$. За исключением коротковолновой области значения групповых $v'(x) = dy/dx$ и фазовых скоростей $v(x) = y/x$ сильно не отличаются ($v(x) \geq v'(x)$). Для кристаллов с габитусами близкими $\{31015\}_\gamma \square \{259\}_\gamma$ угол ψ меняется от $\approx 16.7^\circ$ до $\approx 21.8^\circ$ и $0.9578 \geq \cos \psi \geq 0.9285$. При значениях упругих модулей [3] для сплавов Fe-Ni даже без учета дисперсии вдоль $\langle 001 \rangle_\gamma$ значения v_s'/v'_ℓ не принадлежат к интервалу значений $\cos \psi$, хотя и близки к нему. Так, для габитуса $\{31015\}_\gamma$ $v_\ell/v_s \approx 1.17$, а $v'_\ell/v'_s \approx 1.155$, то есть $v_s/v'_\ell \approx 0.8655$. Уместно, в связи с этим, отметить, что регулярной ДС в кристаллах мартенсита с габитусами $\{31015\}_\gamma \square \{259\}_\gamma$ и не наблюдается.

В то же время знание величины v'_ℓ/v'_s , наряду с учетом затухания волн, позволяет, в принципе, понять наблюдаемые (см. рис. 2) в областях двойникования зоны с убывающими либо нарастающими толщинами компонент ДС.

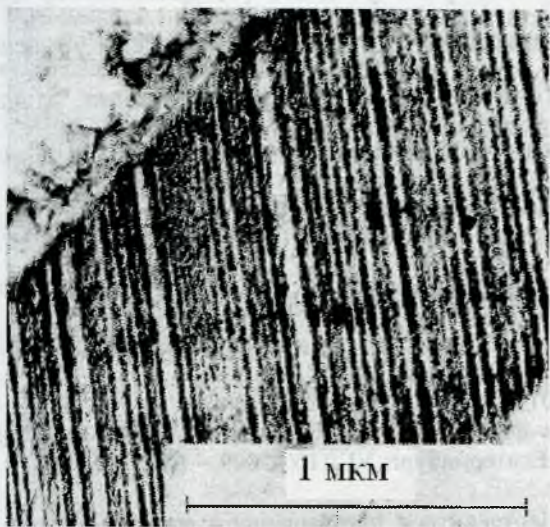


Рисунок 2. Типичная структура [4] кристаллов мартенсита в стали 52X2H23: продвойникованный тонкопластинчатый кристалл

Поэтому, как ясно из [1, 2], возбуждение следующей коротковолновой ячейки требует сужения пространственного масштаба, на границах которого достигается тот же уровень пороговой деформации.

Ясно, что при формальном рассмотрении, допускающем изменение фактора упругой анизотропии, условие вида (1) может быть выполнено, поскольку для чисто изотропной среды скорости волн одной и той же поляризации (продольной либо поперечной) равны между собой, а учет дисперсии скоростей v_s в (1) обеспечит равенство левой и правой части при некотором волновом векторе k_s . Согласно [5], тенденцию к изотропизации упругих свойств, при подходе к температуре M_s , демонстрируют некоторые сплавы на основе никелида титана.

Подобная «модуляция» распределения ДС отражает необходимость выполнения порогового условия для потери устойчивости решетки аустенита в ходе распространения управляющего волнового процесса (УВП), включающего ℓ - и s -волны. Действительно, наибольшей по толщине основной компоненте ДС соответствует близкое к идеальному синфазное наложение ℓ - и s -деформаций, которое в ходе распространения УВП без выполнения (1) расстраивается.

Иной вариант, может быть реализован, например, при В2-В19□ МП в сплавах на основе TiNi. Так, в качестве s-волн выбираются волны с нормальми вдоль пары ортогональных осей $[110]_{B2}$ и $[1-10]_{B2}$, обеспечивая основной вклад в деформацию. В отличие от γ □ α МП, здесь выделяется главная ось растяжения. Поэтому одна из ℓ -волн, противоположно случаю γ □ α МП, будет способствовать общему для обеих компонент ДС сжатию вдоль $[001]_{B2}$, а вторая ℓ -волна, несущая фазу растяжения (скорость именно этой волны нужно подставлять в (1) в качестве v_{ℓ}), снимает вырождение по ориентировкам осей главного растяжения в пользу основной компоненты ДС. Волновая нормаль этой ℓ -волны составляет с плоскостью $(001)_{B2}$ небольшой угол, следовательно для анизотропного кристалла в длинноволновом пределе выполняется неравенство $v_{[110]} > v'_{\ell}$. Но тогда при переходе к более коротким s-волнам (за счет учета дисперсии) обязательно найдется волновой вектор k_s , для которого условие (1) выполнится для групповой скорости v_s и без требования изотропизации упругих свойств. Если уровень затухания таких s-волн будет порядка сотой доли от полной энергии колебания, то для указанного случая двойникования (с плоскостями двойникования $\{001\}_{B2}$ или $\{110\}_{B19\square}$) следует ожидать более регулярной структуры ДС, чем при γ □ α МП.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (номер проекта 14-08-00734)

1. Кашенко М. П., Чашина В. Г., УФН, **181**, № 4, 345 (2011).
2. Кашенко М. П., Чашина В. Г. Динамическая модель формирования двойникованных мартенситных кристаллов при γ □ α превращении в сплавах железа / Екатеринбург: УГЛТУ, 2009. – 98 с.
3. Haush G., Warlimont H., Acta Met., **21**, № 4, 400 (1973).
4. Счастливец В.М., Калетина Ю.В., Фокина Е.А. Мартенситное превращение в магнитном поле / Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 322 с.
5. Пушин В. Г., Кондратьев В. В., Хачин В. Н. Предпереходные явления и мартенситные превращения / Екатеринбург: УрО РАН, 1998. – 368 с.