

О СОСТОЯНИИ И ДИФфуЗИОННОМ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИИ УГЛЕРОДА В СТАЛЯХ ПРИ РЕЕЧНОМ МАРТЕНСИТНОМ ПРЕВРАЩЕНИИ



Нечаев Ю.С.¹, Шурыгина Н.А.², Филиппова В.П.¹



¹Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина, Москва, Россия
² МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия

E-mail: yuri1939@inbox.ru

Как показывает анализ [1, 2] данных [3] трехмерной атомно-зондовой томографии (ТАЗТ) и полевой ионной микроскопии (ПИМ), в т.ч. представленных ниже на Рис. 1, в сплаве Fe-0,85 ат.% С при реечном мартенситном превращении (МП) (при закалке сплава из аустенитного состояния в ледяную ванну) имеет место аномально быстрое диффузионное перераспределение части атомов углерода из решетки мартенсита в Коттрелловские атмосферы вокруг дислокаций с плотностью $\rho \approx 6 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$.

При этом время диффузии близко к времени мартенситного сдвига (МС) по ширине реек [2, 4], которое можно оценить как:

$$\tau \approx (L / u) \approx 10^{-9} \text{ с}, \quad (1)$$

где L – ширина реек, $u \approx 10^5 \text{ см/с}$ – порядка скорости звука в металле [4].

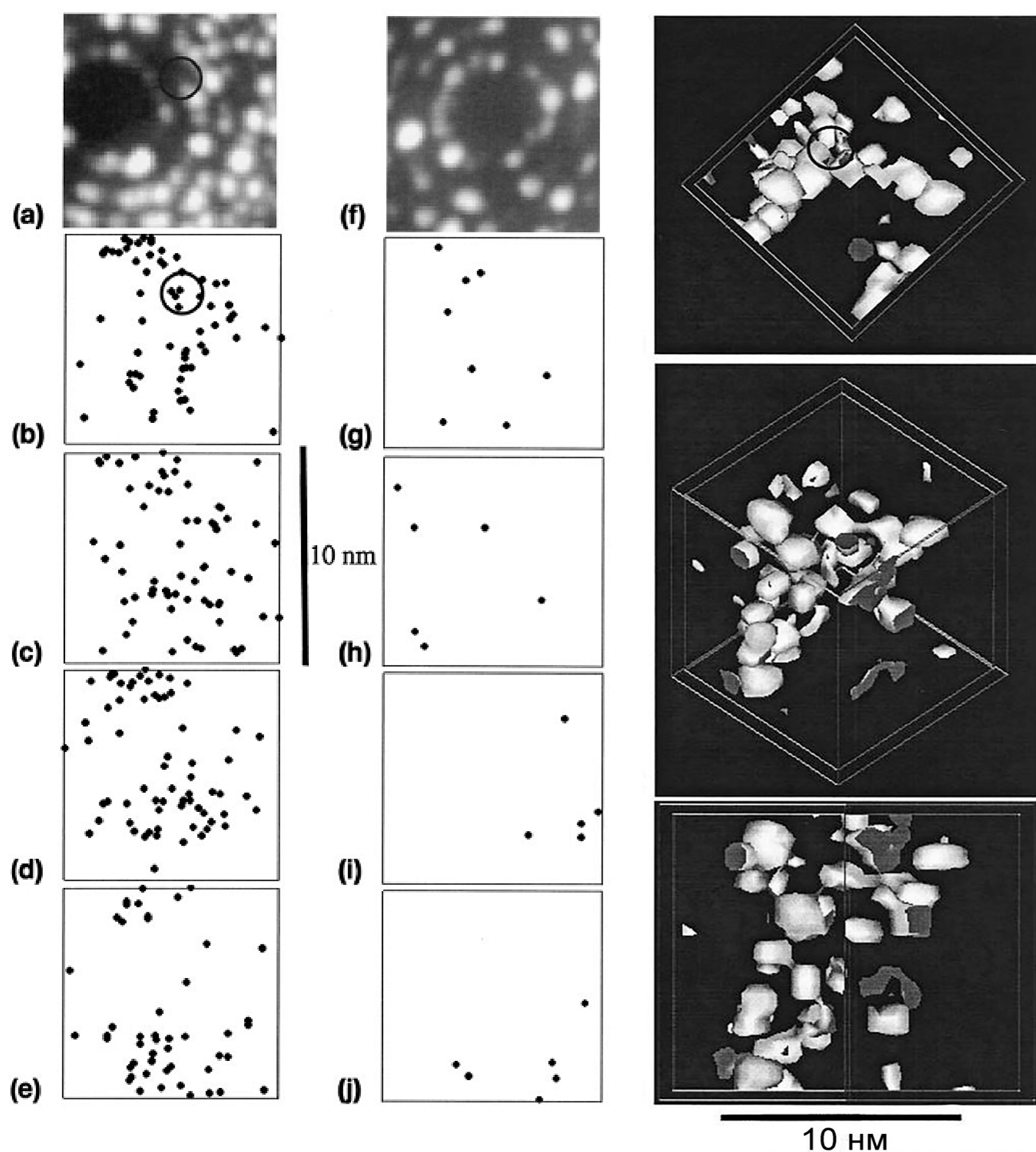


Рис. 1 - ТАЗТ анализ областей мартенсита

ТАЗТ анализ [3] областей мартенсита, содержащего 0.85 ат.% С, непосредственно над дислокацией (а-е) и вне ее (f-j).

Показано [3], что не менее 4/5 углерода (т.е. 0.7 ат. % С) локализовано в сегрегациях на дислокациях, $n_{\text{Csegr.}} \approx 21 \pm 2$.

Отсюда, согласно анализу [1,2]:

$$\rho_{\text{disl.}} \approx 6 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}; \quad d_{\text{segr.}} \approx 10 \text{ нм.}$$

Можно показать [1, 2], анализируя, в частности, данные ТАЗТ-ПИМ [3], что в последеформационный период (при 293 К), т.е. после МП, диффузионное перераспределение атомов углерода в мартенсите происходит с нормальным коэффициентом диффузии

$$(D \approx 10^{-17} \text{ см}^2\text{с}^{-1}),$$

близким к известному значению D [1] для углерода в феррите при 293 К.

Скорость МП-деформации можно оценить как:

$$\dot{\epsilon} \approx (\delta / L \cdot \tau) \approx 10^5 \text{ с}^{-1}, \quad (2)$$

где $(\delta \approx 10^{-8} \text{ см}$ – величина смещения атомов железа при МС.

Коэффициент аномально быстрой диффузии атомов углерода в мартенсите к дислокациям при МП можно оценить как:

$$D^* \approx (\rho \cdot \tau)^{-1} \approx 10^{-3} \text{ см}^2\text{с}^{-1}; \quad (3)$$

полученная (впервые) величина D^* на 6-7 порядков превышает известные значения [1] коэффициента диффузии углерода в феррите при МП температурах.

Список литературы

- [1] Нечаев Ю.С. «Физические проблемы старения...». // УФН. 2008. Т 178. С. 709-725.
- [2] Нечаев Ю.С., Шурыгина Н.А., Черетаева А.О., Александрова Н.М., Филиппова В.П. «Аномалии диффузии и растворимости углерода в сталях при МП». // ПЧММ. 2025.
- [3] Wilde J., Cerezo A., Smith G.D.W. "Three-Dimensional Atomic-Scale Mapping of A Cottrell Atmosphere..."// Scripta Materialia. 2000. 43. 1.
- [4] В.М. Гундырев, В.И. Зельдович, В.М. Счастливцев. «...механизм мартенситного превращения в сплавах железа». // ФММ. 2020. Т. 121. № 11. С. 1142-1161.