

**ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКАЯ ТЕМПЕРАТУРА КАК ПОКАЗАТЕЛЬ
МИКРОПОВРЕЖДЕННОСТИ МЕТАЛЛА ПАРОПРОВОДНЫХ ТРУБ**

А.С. КУЛЕШ, А.С. ВОРОБЬЕВ, Д.М. ШМИТОВ

Томский политехнический университет

E-mail: nathanexplsn@mail.ru

Наука о сопротивлении материалов базируется на законах и выводах теоретической механики, но, помимо этого, учитывает способность материалов деформироваться под действием внешних сил [1]. Физико-механические характеристики (предел текучести, предел прочности, модуль упругости и т.п.), необходимые для оценки прочности и деформируемости материалов, определяются при помощи испытательных машин и специальных измерительных приборов – тензометров. Располагая диаграммой испытания и пользуясь разработанными в сопротивлении материалов методами расчёта, полагается, что можно предсказать, как будет вести себя реальная конструкция, изготовленная из того же материала.

Однако в процессе эксплуатации под термическими и механическими нагрузками в твердом теле изменяется взаимное расположение частиц микроструктуры, фазовый состав, наблюдаются межзеренные проскальзывания, возникают новые угловые ориентировки зерен, изменяется плотность дислокаций.

Но даже без внешних воздействий материал сплава на основе железа испытывает естественное старение, приводящее к разной степени распада твердых растворов. При этом будут изменяться и физические свойства материала.

Используемые в сопротивлении материалов приближенные инженерные методы расчета на прочность отличаются схематичностью и, в целом, при построении общей теории рассматриваются идеализированные тела со свойствами, лишь приближённо отражающими поведение реальных объектов. Тела считаются однородными (со свойствами, одинаковыми во всех точках), сплошными (без пустот), обладающими упругостью (способностью восстанавливать свои размеры после снятия нагрузки), изотропными (с одинаковыми упругими свойствами по всем направлениям). Поэтому данные методы требуют продолжения их дальнейшего детального изучения и поиска новых подходов, а также совершенствования традиционных методов контроля.

Оценка внутренней структурной поврежденности металла может базироваться на измерении характеристической температуры, характеризующей прочность межатомных связей.

Колебания атомов в кристаллической решетке реального кристалла весьма сложны, однако, на основании рентгенометрии можно оценивать среднеквадратичные смещения атомов \bar{U}^2 при термическом или механическом циклическом деформировании по выражению [2]:

$$\bar{U}^2 = \frac{3}{4\pi^2} \left(\frac{d}{n}\right)^2 \ln\left(\frac{I}{I'}\right),$$

где: n – порядок отражения;

d – межплоскостное расстояние, Å;

I' – интегральная интенсивность для деформированного образца;

I – интегральная интенсивность для недеформированного образца (эталона).

По величине среднеквадратичных смещений \bar{U}^2 можно рассчитать характеристическую температуру Θ :

$$\bar{U}^2 = \frac{3h^2T}{k \cdot m \cdot \Theta^2} \rightarrow \Theta = \sqrt{\frac{3h^2T}{k \cdot m \cdot \bar{U}^2}}, \quad (1)$$

где: $\pi = 3,141592654$;

$h = 6,626\ 070\ 040(81)\ 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка;
 $k = 1,38064852(79)\ 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана;
 m – масса атома (в данном случае $m_{Fe} = 9,2736 \cdot 10^{-23}$ $z = 9,2736 \cdot 10^{-26}$ кг);
 $T = 295$ К ($t = 22$ °С).

Из (1) следует, что $\bar{U}^2 \sim 1/(m \Theta^2)$. В то же время величина $(m \Theta^2)$ характеризует прочность межатомной связи, поскольку она пропорциональна силе F , возвращающей атомы в положение равновесия: $F \sim m \Theta^2$.

Для целей диагностики в настоящей работе проведено термоциклирование образцов стали 12Х1МФ.

В таблице 1 приведены сведения о среднеквадратичных отклонениях атомов исследованных образцов и значениях характеристических температур.

Таблица 1 – Определение характеристической температуры и среднеквадратичных смещений

№ п/п	Тип стороны	d, Å	I, имп	U, Å	θ , К
Образец №1 (500 – 900) °С	внешняя	2,0230	80756	0,5330	326,3720
	внутренняя	2,0290	75223	0,5530	314,3830
Образец №2 (500 – 1000) °С	внешняя	2,0230	86366	0,5130	339,3220
	внутренняя	2,0230	98529	0,4700	369,5520
Образец №3 (100 – 500) °С	внешняя	2,0280	83181	0,5240	332,0580
	внутренняя	2,0300	90050	0,5000	347,8630
Образец №4 (исходный)	внешняя	2,0320	89296	0,5030	345,7640
	внутренняя	2,0320	105315	0,4480	387,6950
Образец № 5 (500 – 780) °С	внешняя	2,0350	109000	0,4370	397,9160
	внутренняя	2,0350	114552	0,4180	415,2740
Образец № 6 (естественное старение в течение 14 лет)	внешняя	2,0320	143476	0,3230	538,7010
	внутренняя	2,0320	153627	0,2880	604,4910

Примечание: d – межплоскостное расстояние для рефлекса (110)

При естественном старении твердого раствора (таблица 1, образец № 6) характеристическая температура существенно увеличивается. Этот эффект можно объяснить тем, что атомы отдельных зародышей новой фазы распада и атомы обедненного исходного твердого раствора, претерпевшие частичный разрыв межатомных связей, колеблются как несвязанные изолированные атомы с малой амплитудой (см. таблица 1 и выражение 1).

Из таблицы 1 следует, что характеристическая температура не является константой, а представляет собой функцию температуры, давления и структурного состояния вещества.

Характеристическая температура имеет смысл показателя микроповрежденности, связанной с разрывами межатомных связей, который может быть определен количественно – по параметру решетки, интегральной интенсивности дифракционной линии и среднеквадратичным смещениям атомов в кристаллической элементарной ячейке.

Работа выполнена при поддержке РФФИ «Фундаментальные основы инженерных наук (проект № 15-08-99544а в 2014г., № 18-08-01265 в 20018 г.)

Список литературы

1. Дарков А.В., Шапиро Г.С. Сопротивление материалов. – М.: Альянс, 2014.– 624 с.
2. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электронно-оптический анализ.– М.: МИСИС, 2002. – 360 с.