

**ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ
И ОПАСНОСТЬ РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ**

А.С. КУЛЕШ, Д.М. ШМИТОВ, В.П. ХРОМЦОВ

Томский политехнический университет

E-mail: nathanexplsn@mail.ru

Цель настоящей работы заключается в установлении характера перераспределения среднеквадратичных смещений атомов при циклическом деформировании и их связи с остаточными структурными напряжениями II рода.

Ширина профиля рентгеновской линии обусловлена геометрическим фактором, зависящим от условий рентгеновской съемки, и физическим фактором. Если из экспериментально наблюдаемого профиля исключить геометрический фактор, то профиль линии своей формой будет обязан только лишь свойствам самого исследуемого образца, т.е. микронапряжениями и размерами кристаллитов.

В настоящей работе микронапряжения II рода устанавливались по уширению дифракционных линий с учетом одновременного влияния на уширение профиля от микроискажений и дисперсности.

Если β – физическое уширение профиля, а β_2 – часть физического уширения дифракционной линии, обусловленная микронапряжениями, то микронапряжения II рода определяются из выражения [6]:

$$\sigma_{II} = \left(\frac{\beta_2}{4 \cdot \operatorname{tg} \theta} \right) E,$$

где E – модуль нормальной упругости;

θ – брэгговский угол дифракционной линии.

Среднеквадратичные смещения атомов \bar{U}^2 можно установить по выражению:

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

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 оценить 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: $\pi = 3,141592654$;

$h = 6,626\,070\,040(81) \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка;

$k = 1,38064852(79) \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана;

m – масса атома (в данном случае $m_{Fe} = 9,2736 \cdot 10^{-23}$ г = $9,2736 \cdot 10^{-26}$ 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: $F \sim m\Theta^2$.

Изменения среднеквадратичных смещений атомов при циклическом деформировании иллюстрируются графиками представленными на рисунке 1.

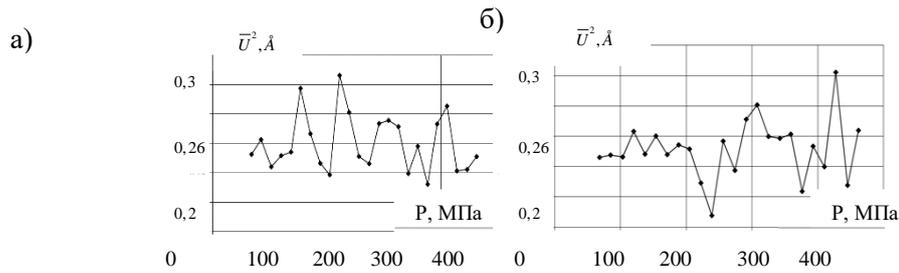


Рисунок 1 – Зависимость среднеквадратичных смещений атомов от внешней нагрузки образца стали 12Х1МФ: а) внутренняя сторона; б) внешняя

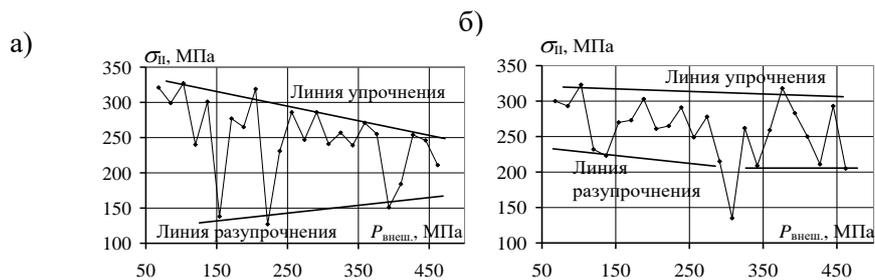


Рисунок 2 – Зависимость внутренних микронапряжений II рода σ_{II} от внешней нагрузки для образца стали 12Х1МФ: а) внутренняя сторона; б) внешняя

Для внутренней стороны достаточная релаксация наблюдается при $P = 160$ МПа (рис. 2.а). При этом же давлении растет межатомное расстояние (рис. 1.а) и уменьшается, согласно (1), сила межатомного взаимодействия. На наружной стороне образца (рис. 2.б), (рис. 1.а) процессы также начинаются приблизительно в одно и то же время, т.е. начиная с 270 МПа. Таким образом, отмечается хорошее совпадение в изменениях среднеквадратичных отклонений атомов с релаксационными процессами внутренних структурных микронапряжений, доминирующими в процессах образования субмикротрещин и разрушения.

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

Список литературы

1. Ермаков С.С. Физика металлов и дефекты кристаллического строения. Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1989. – 280 с.
2. Глейтер Г., Чалмерс Б. Большеугловые границы / Пер. с англ. С. Н. Горина, В. М. Половова. – М.: Мир, 1975. – 375 с.
3. Friedel J., Gullity B. D., Crussard C. // Acta Met. – 1953. – V.1. – P. 79 – 92.
4. Lyubimova L.L., Tashlykov A.A., Tabakaev R.B., Levin A.A., Popov A.Y. The effect of thermo-mechanical loading on fracture-related parameters of austenitic steel // Engineering Failure Analysis. – 2017. – Vol. 81. – pp. 45-56.
5. Lyudmila L. Lyubimova, Roman N. Fisenko, Alexander A. Tashlykov, and Roman B. Tabakaev Changes in the State of Heat-Resistant Steel Induced by Repeated Hot Deformation // Met. Mater. Int., Vol. 24, No. 1 (2018), pp. 121-129.
6. Горелик С. С., Расторгуев Л. Н., Скаков Ю. А. Рентгенографический и электроннооптический анализ. – 2-е изд. – М.: Металлургия, 1970. – 366 с.