

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ТРУБ
ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ**

Новгородцев А.А., Левин А.А., Литвиненко Н.Н.

Научные руководители: Любимова Л.Л., к.т.н., доцент; Ташлыков А.А., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: alex-Novgor@mail.ru

INVESTIGATION OF STRUCTURAL INSTABILITY SUPERHEATER TUBE

Novgorodcev A.A., Levin A.A., Litvinenko N.N

Supervisors: Lubimova L.L., Ph.D., associate professor; Tashlykov A.A., Ph.D., associate professor
Tomsk Polytechnic University, 634050, Lenina Avenue, 30, Tomsk, Russia

E-mail: alex-Novgor@mail.ru

Стали и сплавы – это термодинамически неустойчивая система твердых растворов, ускоренно распадающихся под воздействием нестационарных условий эксплуатации. Это обусловит изменение механических, физических и химических свойств материала и окажет существенное влияние на ресурс поверхности нагрева и поэтому изучение процесса распада представляет практический интерес.

Цель работы заключается в исследовании поведения твердых растворов на ранних стадиях их распада при термомеханических нагрузках.

Методика испытаний состояла в циклическом деформировании образца с применением гидравлического прессования. После каждого цикла нагружения давление повышалось и в точках по толщине стенки трубы (всего 9 точек) методом рентгенофлуоресцентного анализа с применением спектрометра EDX-2800 определялось содержание легирующих элементов (точность измерений – 0,0001 % от S до U).

Химический состав стали 08X18H10T представлен в табл. 1. Отдельные результаты спектрального анализа после циклического деформирования иллюстрируются на рис. 1, 2.

Таблица 1

Химический состав стали 08X18H10T

Состав	Массовая доля элементов, %										
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Ti	Cu	Mo	W
Данные сертификата	0,016	1,73	0,53	0,003	0,012	17,74	9,58	0,20	0,08	0,22	-

Из рис. 1,2 следует, что при циклических нагружениях наблюдаются возвратно-поступательные диффузионные потоки примесей (дефектов) из твердого раствора в межзеренные границы (МЗГ). При этом границы движутся навстречу диффузионному потоку (эффект Киркендала). Это приводит к генерации дефектов в кристаллической решетке a (рис. 3) [1], изменению ее объема V : $\Delta a/a = (V \cdot n)/3V_0$ (V_0 – атомный объем бездефектной ячейки; V – измененный объем; n – атомная доля дефектов), что обусловит возникновение концентрационных неоднородностей и пульсирующих внутренних структурных напряжений I рода (зональных): $\sigma_I = (\Delta a/a) \cdot E$ (E – модуль нормальной упругости материала). Циклическая диффузия атомов в межзеренных границах и знакопеременные неоднородные напряжения σ_I явятся причиной развития явлений усталости и разрушения поверхности нагрева.

Исследования показывают [2], что исходный пересыщенный твердый раствор α_0 распадается с образованием пластинчатой двухфазной микроструктуры, состоящей из обедненного твердого раствора α

и фазы выделения $\beta : \alpha_0 \rightarrow \alpha + \beta$. При последующем скачкообразном прерывистом растворении выделившейся фазы $\alpha + \beta \rightarrow \alpha$ происходит скачкообразная миграция границ. Фронт реакции движется обратно (рис. 4, 5). При этом, как следует из рис. 5, позади движущегося фронта реакции наблюдаются остаточные концентрационные флуктуации – атомный след на месте исчезнувшей микроструктуры.

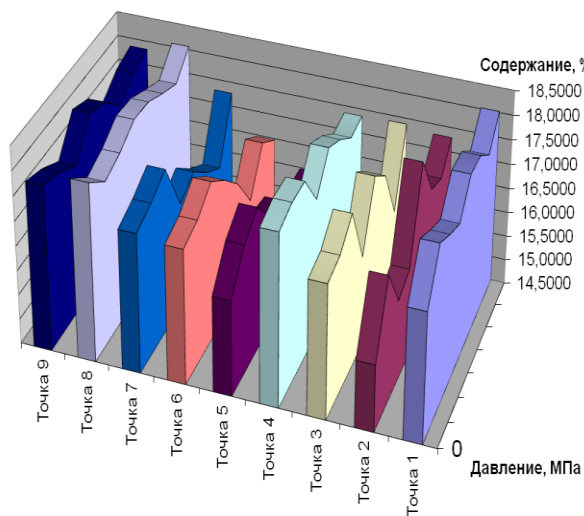


Рис. 1. Перераспределение хрома в стали 08X18H10T при циклическом деформировании

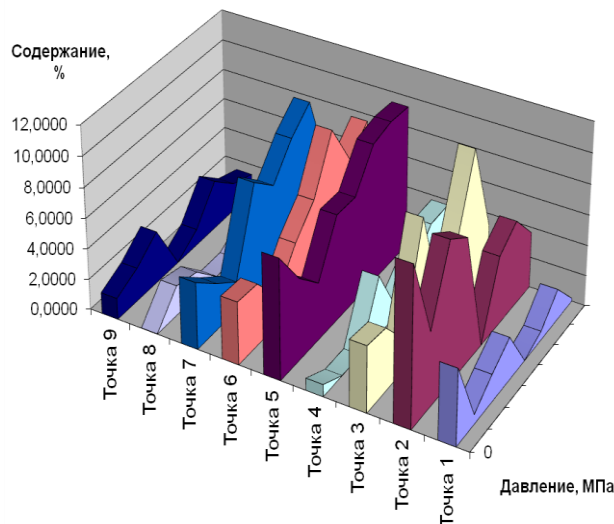


Рис. 2. Перераспределение никеля в стали 08X18H10T при циклическом деформировании

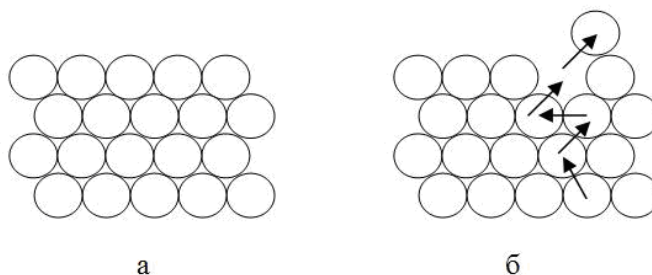


Рис. 3. Схема вакансионного перемещения внедренных атомов:
а – исходный участок атомной плоскости; б – образование и миграция вакансии

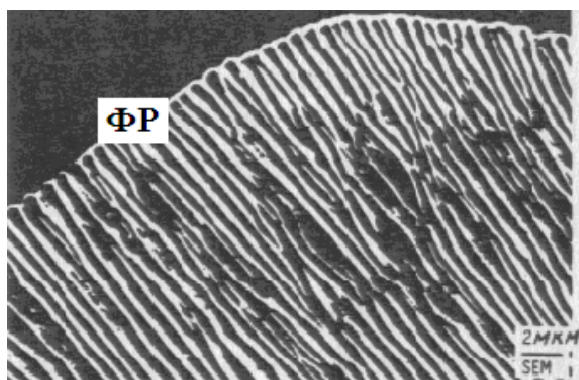


Рис. 4. Микрофотография реакции прерывистого выделения: ФР – фронт реакции [2]

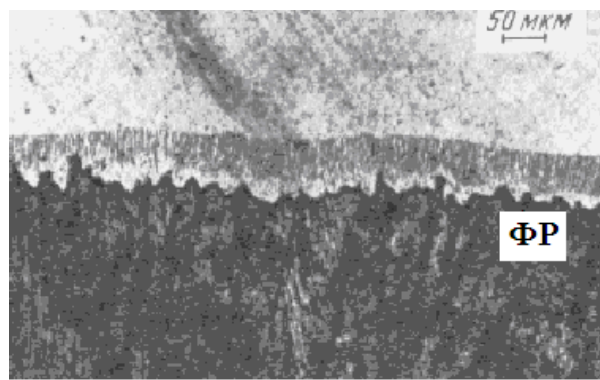


Рис. 5. Микрофотография реакции прерывистого растворения: ФР – фронт реакции [2]

Таким образом, вследствие диффузионных процессов границы могут существовать более чем в одном фазовом состоянии и в них возможны такие же фазовые переходы, как в объеме.

Анализ микротвердости образца показывает, что в структуре стенки трубы существует некая

приповерхностная зона, пересыщенная дефектами, в пределах которой наблюдается повышенная микротвердость. По микротвердости можно оценить ширину диффузионной зоны. Известно, что твердость чистых металлов ниже, чем твердых растворов. Следовательно, измеряя микротвердость, можно получить ее зависимость от концентрации диффундирующего компонента по всей длине диффузионной зоны, в которой твердость образца будет падать от поверхности пока не достигнет постоянной величины, соответствующей твердости чистого основного металла [3]. Как следует из рис. 6, ширина этой зоны составляет порядка 200...300 мкм.

Циклический нагрев образца до 500 °С (рис. 7) привел к временному вырождению этой зоны и выравниванию концентраций по ширине стенки. Однако постоянно протекающий распад твердых растворов (естественное и искусственное старение), неоднородные внутренние напряжения, которые, кроме градиентов концентраций, также являются движущей силой процесса диффузии, приведут к циклическим изменениям свойств приповерхностного слоя, «расшатывая» структуру и постепенно распространяясь по толщине стенки трубы.

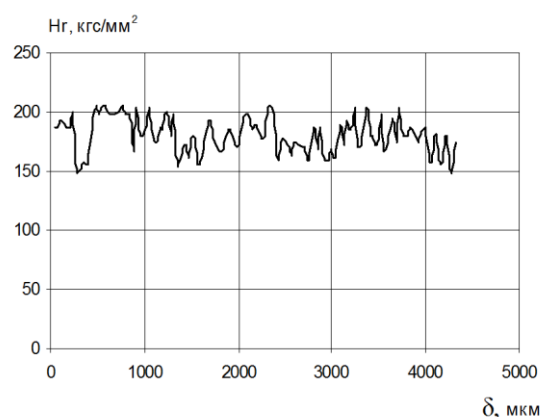
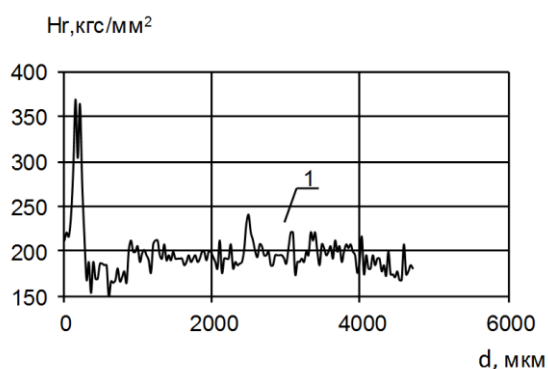


Рис. 6. Изменения микротвердости по толщине стенки трубы, начиная с наружной поверхности

Рис. 7. Изменения микротвёрдости по толщине стенки трубы после нагрева до 500°С

Заключение

Представленные результаты могут быть применены при анализе усталостных разрушений поверхностей нагрева при циклических механических и термических нагрузках, а экспериментальные факты диффузионного перераспределения примесей могут быть положены в основу гипотезы о диффузионной природе термомеханической усталости.

Работа поддержана грантом РФФИ № 15-08-99544а

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Новиков И.И., Розин К.М. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки. – М.: Металлургия, 1990. – 336 с.
2. Каур И, Густ В. Диффузия по границам зерен и фаз/ Пер с англ. Б.В. Страумала; Под ред. Л.С. Швиндлермала. – М.: Машиностроение, 1991. – 448 с.
3. Ермаков С.С. Физика металлов и дефекты кристаллического строения. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1989. – 272 с.