

исследование эксплуатационных характеристик приводятся в [6,7].

Список литературы:

1. Буров В. Д. Тепловые электрические станции: учебник для вузов. / В.Д. Буров, Е.В. Дорохов, Д.П. Елизаров и др.; под ред. В.М. Лавыгина, А.С. Седлова, С.В. Цанева. — 3-е изд., стереот. — М. : Издательский дом МЭИ, 2009. — 466 с.
2. Волков Э. П. Развитие электроэнергетики России / В. А. Баринов, Маневич. А. С., Сапаров М. И. // Электрические станции, 2013 №3с. 3-8.
3. Паровая турбина Т-63/76-8,8 для парогазовой установки ПГУ-230 [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.utz.ru/cgi-bin/catalog/viewpos.cgi?in_id=30
4. Платонов В. А. Особенности проектирования и строительства энергоблоков ПГУ при реконструкции действующих ТЭЦ / В. А. Платонов, М. В. Елисеев, П. Ю. Коваленко к.т.н., Н. Г. Зыкова к.т.н., Н. В. Геммерлинг, Е. Е. Русских // Сборник докладов каталог конф. "Реконструкция энергетики - 2013". - М., 2013. - С. 23-26.
5. СТО 70238424.27.100.007-2008. Парогазовые установки. Условия поставки. Нормы и требования. М.: НП "ИНВЭЛ", 2008.
6. Хуторненко С. Н. Разработка альтернативной схемы включения поверхностей нагрева газового подогревателя конденсата для котла-утилизатора / С. Н. Хуторненко, И. Д. Фурсов, Г. П. Пронь // Вестник алтайской науки. 2014.– № 4.– с. 350 - 352.
7. Хуторненко С. Н. Исследование режимов работы газового подогревателя конденсата с применением альтернативной схемы включения поверхностей нагрева / С. Н. Хуторненко, И. Д. Фурсов, Г. П. Пронь // Вестник алтайской науки. 2014.– № 4.– с. 346-349.
8. Цанев С. В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов; Под ред. С. В. Цанева. М.: Издательство МЭИ, 2002 – 584 с.
9. Энергетическая газотурбинная установка ГТЭ-160 / ОАО «Силловые машины». - М., 2007. – 6 с.
10. Эсмел Гийом Исследование тепловых схем ПГУ КЭС с выбором оптимальных режимов работы для условий Кот Д'Ивуара: дисс. ...канд. техн. наук: 05.14.14/ Эсмел Гийом. – М., 2014. – 124 с.

Чувствительность внутренних напряжений к процессам старения теплообменных поверхностей нагрева котлов

Любимова Л.Л., Таилыков А.А., Фисенко Р.Н., Часовников Н.В.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск
lll@tpu.ru*

При эксплуатации теплоэнергетического оборудования в структуре металла постоянно протекают процессы, связанные с распадом твердых растворов, которые проявляются возникновением внутренних структурных напряжений I и II рода. Они отражают структурное состояние, определяют реальную прочность и могут сравняться с механическими характеристиками прочности для данного металла. Микроструктурные характеристики в виде напряжений I и II рода обычно не учитываются в расчетах на прочность и оценках устойчивости структур.

В этой связи цель настоящей работы – установление влияния внешних механических циклических нагрузок на перераспределение внутренних структурных напряжений.

Для исследований выбрана трубная сталь 12Х1МФ, применяемая для изготовления экранов, коллекторов, пароперегревателей и других многопетлевых змеевиковых поверхностей нагрева, после естественного старения в нормальных условиях в течение порядка 14 лет.

Методика испытаний сводилась к имитации условий эксплуатации под воздействием внешних механических деформаций и выполнению последовательности двух операций: циклическое механическое деформирование – рентгеноструктурный анализ (РСА).

Циклическое механическое деформирование проводилось путем гидравлического прессования с повышением нагрузки на деформируемый образец в каждом очередном цикле нагружения для создания условий форсированного старения за счет интенсификации процессов локальных разрушений.

Для целей рентгенодиагностики внутренних напряжений применялся рентгеновский дифрактометр Дрон-3,0, оснащенный монохроматором для медного излучения трубки с целью исключения влияния на ширину профиля дифракционной линии $\lambda K\alpha_1$ и $\lambda K\alpha_2$ длин волн К-серии. Полученная таким образом длина волны излучения составляла $\lambda K\beta = 1,39217 \text{ \AA}$.

Для рентгеновского анализа выбирались две дифракционные линии. Область когерентного рассеяния D устанавливалась по первой дифракционной линии [1]:

$$D = \frac{0,94\lambda}{m_1 \cos \theta_1}.$$

Величина микронапряжений определялась по линии с большими индексами интерференции [1]:

$$\sigma_{II} = \frac{n_2}{4 \operatorname{tg} \theta_2} \cdot E.$$

Экспериментальные результаты влияния различных степеней деформации на перераспределение внутренних напряжений представлены на рис. 1, 2.

Представляется целесообразным начать обсуждение полученных результатов с некоторых сопоставлений (рис. 3,4,5) [1,2,3]. На рис. 3 представлены результаты термоциклического старения образца стали 12Х1МФ. Видно, что плотность дислокаций исходного образца составляла порядка $9 \cdot 10^{11}$ 1/см², а у образца, состаренного в процессе термоциклирования, она значительно уменьшается и изменяется от 0,38 до $4,5 \cdot 10^{11}$, 1/см².

На рис. 4 представлены результаты для холодного образца после соответствующих в процессе термоциклирования нагревов. Кривые (рис. 4) показывают, что низкий отжиг (кривая 1 на рис. 4), начиная с 325 °С, и более высокий отжиг (кривая 2 на рис. 4) вплоть до температуры 680 °С не способствуют возврату свойств до исходного состояния. Таким образом, результатом форсированного старения термоциклированием явилось уменьшение плотности дислокаций и, как следствие, охрупчивание.

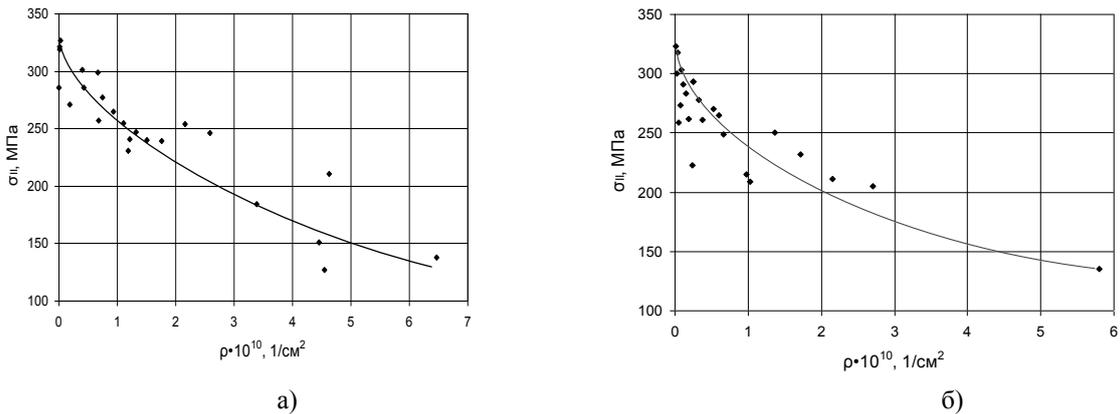


Рис.1 Зависимость внутренних напряжений II рода σ_{II} от плотности дислокаций при холодном циклическом деформировании: а – внутренняя сторона стенки трубы пароперегревателя; б – наружная сторона

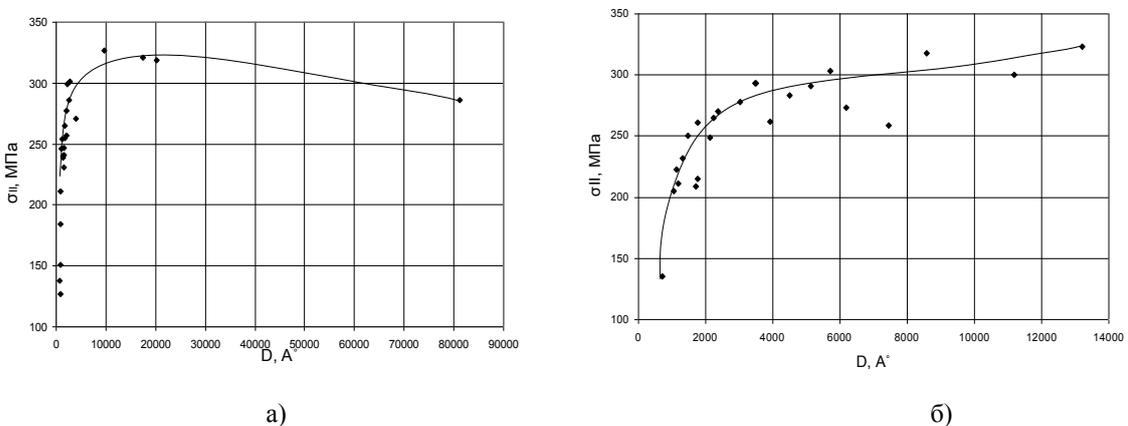


Рис.2 Зависимость внутренних напряжений II рода σ_{II} от размера зерна при холодном циклическом деформировании: а – внутренняя сторона стенки трубы пароперегревателя; б – наружная сторона

На рис. 5 проиллюстрированы экспериментальные результаты о характере перераспределения внутривидовых напряжений в процессе коррозионных испытаний [2,3]. Исходные образцы в количестве 16 штук (кривая 1 на рис.5) были подвергнуты поэтапным коррозионным испытаниям в среде водяного пара в течение года. Результаты первых (кривые 2, 3, 4 рис. 5) и вторых коррозионных испытаний (кривая 5 рис.5) показывают, что процесс коррозии приводит к углублению структурной неустойчивости теплообменной поверхности, что выражается разбросом значений внутренних напряжений от нулевых значений до максимальных порядка 370 МПа, но и сопровождается таким перераспределением структурных дефектов, которое приводит к перемещению базовой кривой 1 в область малых плотностей дислокаций, что, по-видимому, является причиной охрупчивания локальных участков поверхности.

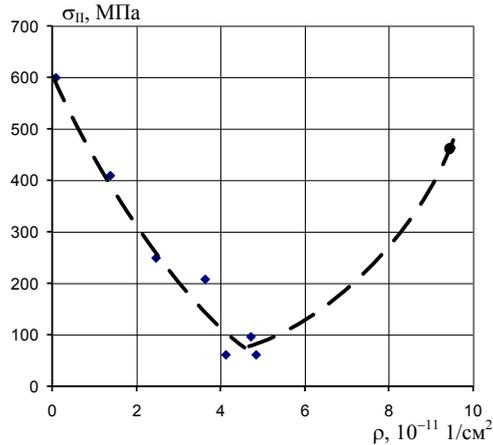


Рис.3. Сталь 12Х1МФ. Испытания термоциклические. Верхняя точка на правой ветви характеризует состояние исходного образца. Левая ветвь кривой соответствует результатам термоциклического старения

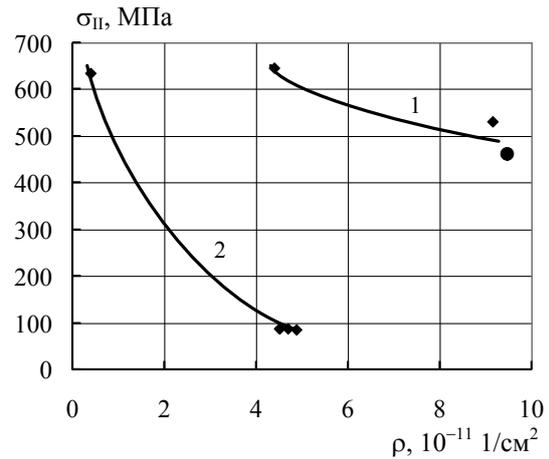


Рис.4. Сталь 12Х1МФ. Зависимость внутренних напряжений от плотности дислокаций после соответствующих рисунку 3 нагревов

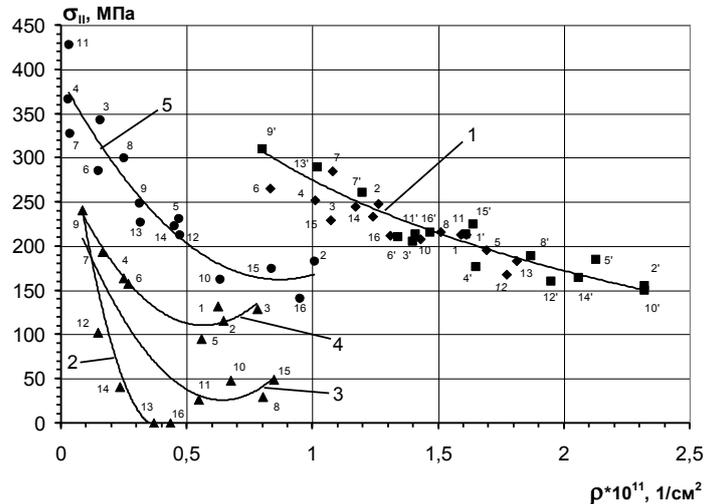


Рис. 5. Зависимость микронапряжений второго рода от плотности дислокаций:

- 1— образцы исходные и после пластического деформирования (◆, ■);
- 2, 3, 4 — после первых коррозионных испытаний (▲);
- 5— после вторых коррозионных испытаний (●)

Возвращаясь к рис. 1, 2, где представлено перераспределение структурных дефектов во внешних силовых полях, отметим следующее:

1 – образец стали 12Х1МФ, подвергнутый внешней деформации, вскрывает неоднородность свойств на внутренней и наружной поверхностях.

На внутренней поверхности стенки трубы пароперегревателя размер зерен при деформации изменяется до 80 000 Å, внутренние напряжения изменяются от 120 до 320 МПа.

На наружной поверхности зерна меньше и при деформации изменяются до 13 000 Å, внутренние напряжения – от 200 до 320 МПа;

2 – плотность дислокаций на обеих поверхностях не только отличается друг от друга, но и как минимум на порядок величины меньше, чем у исходного образца. Из теории дислокаций известно, что при распаде твердых растворов примесные атомы притягиваются как дислокациями, так и дефектами упаковки, создавая атмосферы Котрелла или (и) Судзуки, которые закрепляют дислокации и являются одной из причин понижения пластичности;

3 – уменьшение плотности дислокаций в процессе старения, разные уровни внутренних напряжений и разнотернистость поверхностей определяют их неоднородность и различную восприимчивость к процессам усталости.

Полученные результаты применения рентгенометрии в исследованиях напряженно-деформированных состояний хоть и не дают в количественном выражении однозначного ответа на вопрос о влиянии внутренних напряжений на ресурс, но позволяют качественно прогнозировать интенсивность протекания процессов старения, в том числе термического и коррозионного, что, в свою очередь, позволяет давать более эффективные прогнозы относительно остаточного ресурса элементов теплогенератора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Процесс старения в результате механических циклических деформаций приводит к снижению плотности дислокаций, сопровождается ухудшением пластичности и охрупчиванием материала.
2. Снижение пластичности в результате механических циклических деформаций подобно термическому и коррозионному старению.
3. Процесс старения в результате механических циклических деформаций приводит к укрупнению «зерен», снижению их хрупкой прочности и ресурса.

Список литературы:

1. Любимова Л.Л. Основы применения метода высокотемпературной рентгенографии для оценки работоспособности труб паровых котлов/ Л.Л. Любимова, А.С. Заворин, Б.В. Лебедев.– Томск: Изд. STT.– 2009.– 220 с.
2. Consideration of Intrastructural Stresses in the Processes Connected with the Effect of Structural Nonuniformity on Corrosion Damages Inflicted to HeatTransfer Tubes/L. L. Lyubimova, A. A. Makeev, A. S. Zavorin, A. A. Tashlykov, A. I. Artamontsev, B. V. Lebedev, and R. N. Fisenko//Thermal Engineering.– 2014.– Vol. 61.– No. 8.– pp. 600–605.
3. Способ определения оптимальной температуры пассивации трубных элементов теплоэнергетического оборудования и устройство для коррозионных испытаний: пат. 2544313 С2 Рос. Федерация: МПК G01N 23/20 (2006.01)/ Л.Л. Любимова, А.С. Заворин, Б.В. Лебедев; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Национальный исследовательский Томский политехнический университет".–№2013120561/28; заявл. 07.05.2013; опубл. 20.03.2015, Бюл. № 8. – с. 14: ил.

Работа поддержана грантом РФФИ № 15-08-99544а

Гибридные полимерные системы для протонпроводящих мембран

Усманов Р.Т., Лебедева О.В.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,

Россия, г. Иркутск

e-mail: lebedeva@istu.edu

Наиболее перспективными и экологически чистыми источниками электрической энергии являются топливные элементы. Они способны осуществлять прямое взаимодействие химической энергии в электрическую. Коэффициент полезного действия таких устройств существенно выше, чем двигателей внутреннего сгорания [1-3]. Еще одной немаловажной причиной использования энергосистем на основе топливных элементов является возможность их применения в регионах,