

**СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕНТГЕНОМЕТРИЧЕСКИХ И МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ СОСТАВА АУСТЕНИТНОЙ
ЖАРОПРОЧНОЙ ТРУБНОЙ СТАЛИ ДЛЯ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЕЙ**

Юдин В.А.

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: yudin_1992@sibmail.com

**COMPARISON OF RADIOMETRIC AND METALLOGRAPHIC STUDIES SUBSURFACE
INHOMOGENEITIES AUSTENITIC HEAT-RESISTANT PIPE STEEL FOR SUPERHEATER**

Yudin V.A.

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: yudin_1992@sibmail.com

Основными конструкционными материалами для изготовления пароперегревателей котлов СКД в России являются аустенитная сталь 12X18H12T и стали перлитного класса 12X1МФ и 12X2МФСР. Рассчитанные на ресурс работы порядка 300 тыс.ч.они разрушаются по разным причинам гораздо раньше [1]. Одной из причин преждевременных разрушений может выступать ускорение структурной деградации стали в результате циклических механических и температурных градиентов [2].

Малая изученность некоторых аспектов структурных превращений и возможность фиксировать их с применением высокотемпературной рентгенометрии непосредственно при температурах этих превращений определили актуальность настоящей работы.

Целью работы является исследование и анализ влияния приповерхностной неоднородности состава на структурную деградацию на основе сравнения данных рентгенометрии и металлографии.

В качестве объекта исследований выбрана аустенитная хромомарганцевая сталь 10X13Г12БСН2Д2 (Ди-59), разработанная для пароперегревателей котлов СКД [3, 4]. Исследования проведены на образцах, вырезанных из трубы диаметром 32 и толщиной стенки 6 мм.

Проведенный рентгеноструктурный анализ приповерхностных слоев образца с внутренней и наружной его сторон показывает, что атомно-кристаллическая структура наружной и внутренней поверхностей стенки трубы принципиально отличается (рис. 1).

На внутренней поверхности со стороны малых углов отмечается признак расслоения основной фазы, соответствующей аустениту с гранецентрированной кубической (ГЦК) решеткой и ребром элементарного куба, равным $a_\gamma = 3,6076 \text{ \AA}$ (рис. 1 а). Наружная поверхность обладает смешанной фазовой структурой. Одна из фаз имеет объемно-центрированную кубическую (ОЦК) решетку с параметром элементарной ячейки $a = 2,8509 \text{ \AA}$, вторая фаза представляет собой аустенит (γ -Fe) с ГЦК решеткой и ребром куба $a_\gamma = 3,5929 \text{ \AA}$ (рис.1 б). Различие в параметрах решетки аустенита на наружной и внутренней поверхностях свидетельствует о концентрационной неоднородности основного γ - твердого раствора. Примерное соотношение фаз на наружной поверхности соответственно равно α -Fe – 25 и γ -Fe – 75 масс. %.

Следует отметить, что установленная неоднородность окажет влияние на механические и электрохимические свойства различных участков поверхности, явится фактором, определяющим их усталостную и коррозионную прочность. Исследования показывают, что потенциальные возможности конструкционных материалов, особенно высокопрочных, проявляются лишь в том случае, когда качество поверхности удовлетворяет самым высоким требованиям [5].

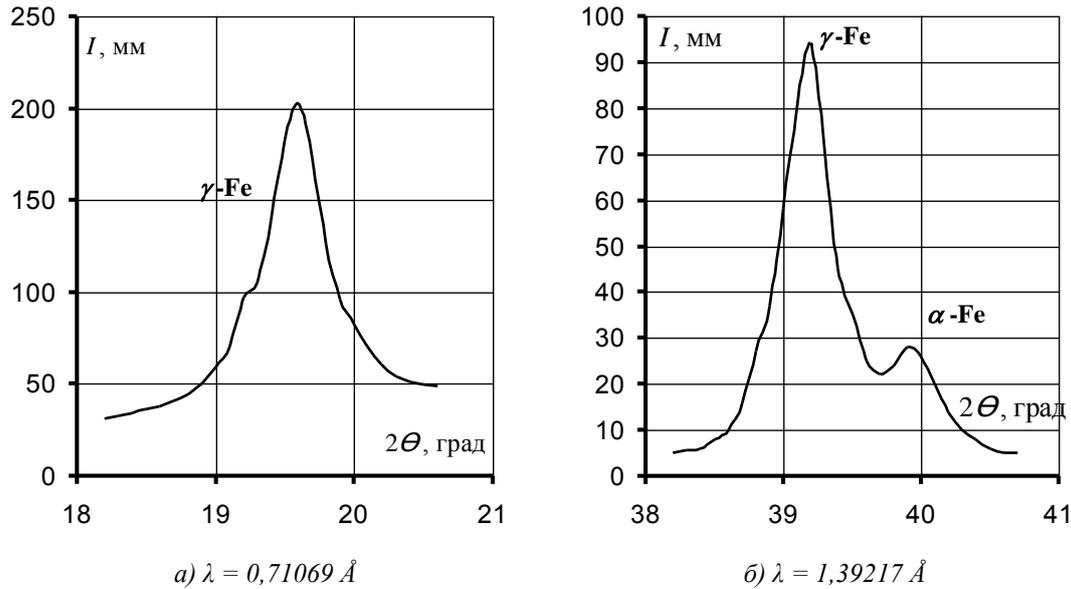


Рис. 1. Фрагменты рентгенограмм внутренней (а) и наружной (б) поверхностей

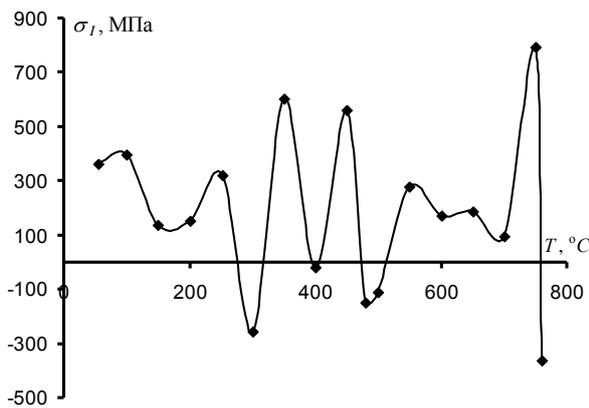


Рис. 2. Изменение зональных макронапряжений I рода σ_I в стенке трубы от температуры

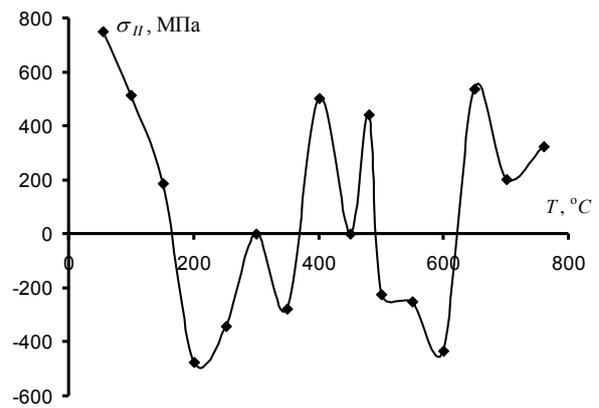


Рис. 3. Изменение внутренних микронапряжений II рода σ_{II} в стенке трубы от температуры

Кроме того, материальная неоднородность сплава (рис. 1) проявляет себя возникновением неоднородных внутренних структурных напряжений первого σ_I и второго рода σ_{II} (рис. 2, 3).

Из рис. 2 следует, что зональные макронапряжения σ_I при знакопеременных термических нагрузках приобретают осциллирующий характер и в диапазонах предполагаемых эксплуатационных температур 550...600...650...700 °С находятся в области растягивающих напряжений.

Внутренние микронапряжения второго рода (внутризеренные) в диапазоне температур 500...600 °С находятся в области сжимающих напряжений (рис. 3), которые препятствует развитию явлений термической усталости [6], вследствие чего и их разрушающее влияние проявляется с меньшей вероятностью, чем при растягивающих напряжениях.

На том основании, что в объеме зерен действуют сжимающие напряжения (рис. 3), а по границам – растягивающие (рис. 2), можно предположить, что исследуемый образец стали в диапазоне служебных температур будет иметь в большей степени склонность к образованию трещин не в теле зерна, а по его границам. Имея в виду существенную фазовую неоднородность наружной поверхности (рис. 1б), можно

утверждать, что межкристаллитной коррозии в первую очередь будет подвергаться наружная поверхность.

Этот же вывод вытекает из металлографических исследований разрушенных труб IV ступени пароперегревателя из стали Ди-59 котлов БКЗ 210-140 Ф с наработкой 12941 ч и 6821 ч и числом пусков – 17 (рис. 4, 5, 6), предоставленных одной из ТЭЦ СФО.

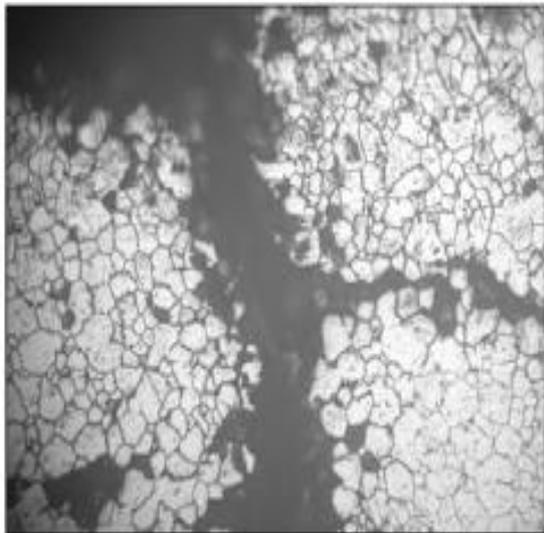


Рис. 4. Разветвленные трещины на наружной поверхности трубы пароперегревателя из стали Ди-59

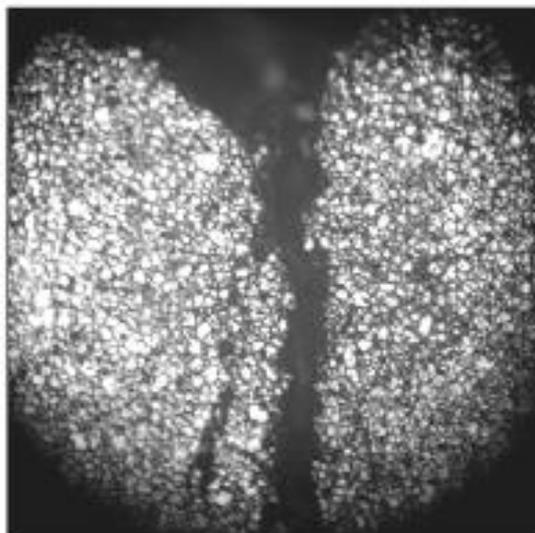


Рис. 5. Трещина на наружной поверхности трубы пароперегревателя из стали Ди-59

Микрошлифы для исследования вырезались перпендикулярно месту разрушения.

Травление производилось раствором «царской водки», микроструктура стали определялась на микроскопе Метам ЛВ-32 при увеличениях 500х. Установлено, что наружная поверхность состоит, в основном, из аустенита с некоторым количеством двойников и выделением укрупненных карбидов по границам и внутри зерна.

Во всех рассмотренных случаях разрушения выявлены с наружной стороны труб. Внутренняя поверхность труб оставалась чистой, без видимых дефектов. Разрушения представляют собой нераскрытые разветвленные трещины как в продольном, так и в поперечном направлениях с выкрашиванием металла по наружной поверхности (рис. 4, 5).

По месту разрушения из аустенита с тонкими и четкими границами зерен по наружной поверхности параллельно основной трещине, обнаружено межзеренное коррозионное растрескивание металла на глубину до 3,3 мм, начинающееся с наружной поверхности и сопровождающееся выпадением целых зерен, что характерно для межкристаллитной коррозии (рис. 6).

Разрушенные поверхности пароперегревателя не несли следов отложений и окалины, не обнаружено также увеличения диаметра труб в месте разрыва. Это свидетельствует о том, что разрушение было бездеформационным и доминантным фактором разрушения явились внутрискристаллитные процессы старения металла. В отличие от рентгенофазового анализа (рис. 1б) данные микроскопического метода не обнаруживают в структуре стали достаточно существенной по величине фазы альфа-железа (25 %), что также может объясняться неоднородностью состава поверхности стенки трубы.

По результатам металлографических исследований, как и по данным рентгенометрии, можно сделать вывод, что разрушения труб $D \times S = 32 \times 4,5$ мм, сталь Ди-59 IV ступени пароперегревателя, произошли вследствие развития коррозионного повреждения (МКК) металла со стороны внешней поверхности.

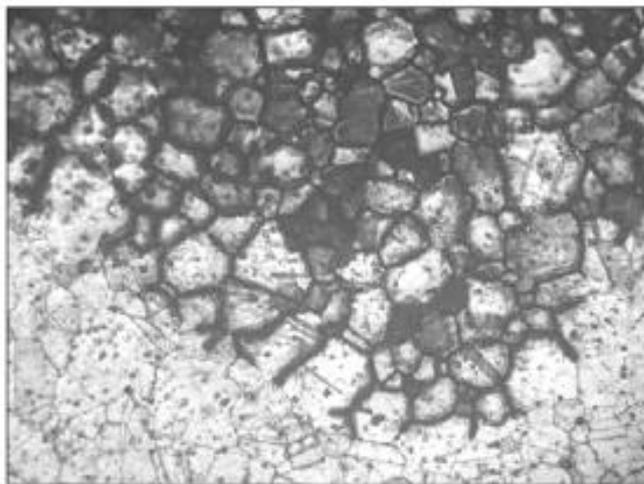


Рис. 6. Межкристаллитная коррозия на наружной поверхности

Заключение

На основе методики рентгенодиагностики протестированы образцы труб поверхностей нагрева паровых котлов по уровню внутренних структурных напряжений. Полученные оценки и выводы относительно возможных разрушений и работоспособности труб находятся в соответствии с результатами, выполненными путем анализа микроструктуры на основе металлографического метода. Согласно исследованиям сравниваемыми методами разрушение поверхностей нагрева произошло с внешней стороны трубы и выразалось в межкристаллитном растрескивании металла.

Работа поддержана грантом РФФИ № 15-08-99544а

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Резинских В.Ф., Школьников Б.Э., Урусова Г.А. Перспективные стали для пароперегревателей котлов СКД // Теплоэнергетика.– 2000.– № 10. – С. 39–43.
2. Structural Instability in the Early Decomposition of Supersaturated Austenite Solid Solution /A.A. Makeev, L.L. Lyubimova, A.S. Zavorin et al. // Steel in Translation.–2009. –Vol. 39 – No. 12.– pp. 1048 – 1055.
3. Адамович В.К., Крац И.В., Гриневский В.В. Разработка расчетных характеристик кратковременной и длительной прочности, пластичности и допускаемых напряжений стали Ди59// Труды ЦНИИТМАШ/ Под ред. А.В. Рябченкова, Е.В. Кузнецова. – М.: 1988.– С. 62 – 68.
4. Тумановский А.Г., Резинских В.Ф. Стратегия продления ресурса и технического перевооружения тепловых электростанций//Теплоэнергетика.– 2001.– № 6.– С.3 –10.
5. Учёт внутрискруктурных напряжений в процессах подавления влияния структурной неоднородности на коррозионные повреждения теплообменных труб/Л.Л. Любимова, А.А. Макеев, А.С. Заворин и др.// Теплоэнергетика. – 2014.– № 8.– С. 62–67.
6. Русаков А. А. Рентгенография металлов. – М.: Атомиздат, 1977. – 480 с.