

Артамонцев Александр Иванович

**КОРРОЗИОННЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ МИКРОСТРУКТУРНЫХ
ПОВРЕЖДЕНИЙ В ТРУБАХ ТЕПЛОВСПРИНИМАЮЩИХ
ЭЛЕМЕНТОВ И ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ**

05.14.14 – тепловые электрические станции,
их энергетические системы и агрегаты,
05.14.04 – промышленная теплоэнергетика

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2007

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Томский политехнический университет»

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент Заворин А.С.

Официальные оппоненты:

доктор физико-мат. наук, доцент

Логинов В.С.

кандидат технических наук, доцент

Федецкий И.И.

Ведущая организация: ФГУП Сибирский химический комбинат (г.Северск)

Защита состоится «30» мая 2007 года в 10-00 часов на заседании диссертационного совета К 212.269.04 в Томском политехническом университете по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, корпус 4, ауд. 406.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Томского политехнического университета.

Автореферат разослан «28» апреля 2007 года.

Ученый секретарь
диссертационного Совета К 212.269.04

Заворин А.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы определяется ее направленностью на обеспечение безопасности, продление срока службы и повышение эффективности эксплуатации тепломеханического оборудования тепловых электростанций, промышленных и отопительных котельных, а также систем теплоснабжения за счет сокращения ущерба от коррозионного износа труб. Наиболее действенным путем защиты теплотехнических трубопроводных систем от коррозионных повреждений является водоподготовка и организация водно-химического режима работы оборудования. Эти мероприятия позволяют поддерживать надежность работы элементов оборудования, в том числе поверхностей нагрева в целом на высоком уровне при оснащении системами мониторинга и регулирования параметров водно-химического режима, что имеет место лишь на крупных современных ТЭС. Большинство энергетических объектов, особенно в промышленной теплотехнике и в сфере теплоснабжения, даже при наличии оборудования для водоподготовки, не располагают средствами для диагностирования и прогнозирования нарушений водно-химического режима и отклонений параметров качества воды. Наряду с этим практика свидетельствует, что несмотря на значительные усилия и затраты на организацию водоподготовки и водно-химического режима, с течением времени проявляют себя процессы структурной коррозии, которые приводят к повреждениям трубных конструкций задолго до исчерпания проектного ресурса. Многие исследователи сходятся во мнении, что в основе этих явлений лежат внутрискруктурные напряжения, развивающиеся в стенках труб под действие факторов как технологии изготовления, так и эксплуатации элементов трубных систем. В связи с этим очевидно, что основную сложность для получения расчетных оценок ресурса труб представляет точное определение величины и знака внутрискруктурных напряжений. Не менее важная сторона проблемы состоит в недостаточной изученности влияния внутрискруктурных напряжений на показатели механической прочности, процессы зарождения и развития пористости, трещинообразования и в конечном итоге на стойкость трубы к коррозии.

В качестве основного объекта исследования приняты трубы из углеродистой стали (Ст.20), которые имеют преимущественное распространение для изготовления тепловоспринимающих элементов и трубопроводов не только в теплоэнергетике, но и в других производственных отраслях. Это составляет существенный аспект актуальности темы диссертации и значимости полученных результатов.

Работа выполнялась в соответствии с основными направлениями научной деятельности Томского политехнического университета («Разработка методов и средств повышения надежности и эффективности эксплуатации энергетических объектов»).

Целью диссертационной работы является оценка влияния микро-структурной повреждаемости труб в трубопроводных и теплообменных системах разного назначения на коррозию металла в условиях, характерных для эксплуатации, и обоснование с учетом этого рекомендаций по повышению их коррозионной стойкости.

Указанная цель достигается реализацией следующих задач: разработкой физической модели коррозионного процесса на базе исследования фазовой структуры коррозионных продуктов на внутренней поверхности труб котельного агрегата; рентгенодилатометрическими исследованиями внутри-структурных напряжений материала труб поверхностей нагрева; разработкой методики и экспериментальной установки для коррозионных испытаний образцов труб; проведением коррозионных испытаний образцов труб и сравнением их результатов с данными, полученными при экспериментальных исследованиях структурных напряжений.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- впервые определены структурные напряжения при термоциклических температурных воздействиях на материал труб из стали 20;
- на базе рентгенофазовых анализов внутритрубных отложений предложена гипотеза о механизме коррозионных процессов на поверхности и в структуре стенки стальных труб трубопроводных систем;
- получены новые результаты, показывающие влияние эффективности паровоздушной обработки на структурную коррозию;
- обоснованы и экспериментально доказаны режимы термической обработки с целью блокирования межкристаллитной коррозии труб из стали 20;
- развито представление о физическом механизме коррозионных повреждений теплотрубопроводов и поверхностей нагрева котельных агрегатов.

Практическая значимость работы состоит в следующем:

- подготовлена методическая основа для определения параметров термохимического процесса стабилизации структуры и упрочнения материала труб, позволяющего существенно повысить коррозионную стойкость теплотрубопроводов и элементов поверхностей нагрева;
- полученные результаты позволяют выбрать режимы термической паровоздушной обработки труб из стали 20;
- материалы исследований используются в ЗАО «Инженерный центр» ОАО «Новосибирскэнерго» для назначения регламента работ при монтаже и ремонте по результатам диагностирования поверхностей нагрева котлов и теплообменников и других трубных систем, а также в учебном процессе по специальностям «Тепловые электрические станции», «Промышленная теплоэнергетика», «Котло- и реакторостроение» в Томском политехническом университете.

Достоверность результатов проведенных исследований, обоснованность научных положений и выводов обеспечиваются:

– соответствием разработанных в диссертации моделей физическим процессам, установленным при исследовании натуральных образцов труб котельных агрегатов;

– подтверждением параллельными физическими испытаниями образцов труб и сравнением измерений структурных параметров по тестированным и апробированным методикам, в том числе при измерениях напряжений материала классическим методом механических испытаний;

– анализом погрешностей измерений.

На защиту выносятся основные научные положения и результаты экспериментальных исследований, в том числе:

– результаты экспериментального рентгенодилатометрического исследования внутренних напряжений материала труб из стали 20;

– результаты коррозионных испытаний образцов труб из стали 20 и исследования влияния паровоздушной обработки на межкристаллитную коррозию.

Личный вклад автора определяется его самостоятельным определением цели, направления и объекта исследования, непосредственным участием в проведении экспериментов, самостоятельной обработкой и анализом их результатов, обоснованием основных научных положений и выводов. Под руководством к.т.н. Макеева А.А. разработана физическая модель коррозионного процесса и методика коррозионных испытаний, под руководством к.т.н. Любимовой Л.Л. применены методические положения рентгеноструктурного анализа для определения структурных напряжений и параметров микротрещин.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались: на VII, IX, XI, XII всероссийских научно-технических конференциях «Энергетика: экология, надежность, безопасность» (Томск, 2001, 2003, 2005, 2006 г.г.); на региональной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука, техника инновации» (Новосибирск, 2001 г.); на III и IV семинарах вузов Сибири и Дальнего Востока по теплофизике и теплоэнергетике (Барнаул, 2003 г., Владивосток, 2005 г.), на II и IV всероссийских совещаниях « Энергоэффективность, энергосбережение, и энергетическая безопасность регионов России» (Томск, 2003, 2006 г.г.), на научных семинарах кафедры парогенераторостроения и парогенераторных установок Томского политехнического университета (Томск, 2000-2007 г.г.).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы представлены в 14 опубликованных работах, среди которых 2 статьи в рецензируемом издании (список ВАК) и материалы докладов в сборниках вышеперечисленных конференций.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка цитируемой литературы (99 наименований) и приложения, содержит 120 страниц текста, 41 рисунок и 8 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, ее научная, практическая значимость, сформулированы цель и задачи исследований.

В первой главе рассмотрено современное состояние проблемы межкристаллитной коррозии в трубах поверхностей нагрева и транспортных трубопроводов. Описаны теоретические и экспериментальные способы исследования коррозионных процессов в трубах. Показано, что обычно используемые физические модели коррозионных процессов учитывают ограниченную часть факторов, определяющих протекание процессов электрохимического механизма коррозионного разрушения металлов. Практически не встречается работ, описывающих диффузию среды в структурные трещины стальных труб, процесс насыщения материала коррозионными элементами газовой среды, влияние термических эффектов упрочнения-разупрочнения и трещинообразования за счет внутренних напряжений на внедрение в стенку трубы коррозионно-активных компонентов. Выделена актуальность создания физических моделей, отражающих существо формирования коррозионных компонентов электрохимического механизма и являющихся базой для обоснованного выбора технологических параметров его прерывания в элементах поверхностей нагрева и транспортных трубопроводах тепломеханического оборудования разного назначения. Поставлена задача экспериментальных исследований влияния процесса структурного трещинообразования на структурную коррозию труб. При анализе механизмов коррозионной повреждаемости поверхностей нагрева было выявлено, что оценка влияния внутренних факторов представлена в меньшей мере. Еще менее изучено влияние внутренних остаточных структурных напряжений и их перераспределение в процессе работы труб в условиях температур и давлений на развитие язвенно-питтинговой коррозии. Исключение из анализа механизма коррозии этого фактора лишает сложную коррозионную проблему того комплексного подхода, который требуется при исследованиях столь многофакторного и сложного явления.

Изложенное обосновывает нацеленность настоящей работы на установление связи между внутренними структурными напряжениями и коррозией.

Во второй главе представлены методы определения микроструктурной неоднородности, методика рентгеноструктурных исследований, рассматриваются методические основы рентгенодилатрометрических исследований поведения внутренних напряжений металла труб с целью определения температурного диапазона раскрытия микротрещин. Обосновывается методика испытаний образцов котельных труб с применением рентгенодилатрометрического метода с имитацией типичных для поверхностей нагрева котлов процессов нагружения, создающих остаточные структурные напряжения. Приводится описание техники эксперимента, изложена методика определения внутренних микронапряжений σ_{II} и оценка погрешности.

Для анализа внутренних структурных напряжений использована апробированная методика рентгенодиагностики, которая заключается в определении физического уширения профилей дифракционных линий и их отношения. При этом исходят из того, что угловая ширина дифракционной линии обусловлена одновременным влиянием инструментальных и физических факторов (m-уширение от дисперсности образца и n-уширение от микронапряжений).

Физический профиль дифракционной линии β , являющийся функцией структуры, свойств и конкретного физического состояния образца, устанавливается расчетной обработкой рентгенограмм с использованием не менее двух дифракционных линий методом его аппроксимации одной из гладких функций вида: Гаусса $\exp(-\alpha x^2)$; Коши $\frac{1}{(1+\alpha x^2)}$ или Фойгта $\frac{1}{(1+\alpha x^2)^2}$. На основании аппроксимирующей функции рассчитывается истинное физическое уширение линии β , которое связано со структурными параметрами m и n.

Установление структурных параметров m и n для анализируемых дифракционных линий позволяет определять размеры кристаллитов D и внутренние микронапряжения II рода σ_{II} :

$$D = \frac{0,94\lambda}{m_1 \cdot \cos\theta_1}, \quad (1)$$

$$\sigma_{II} = \frac{n_2}{4\text{tg}\theta_2} E. \quad (2)$$

Плотность дислокаций оценивалась из выражения:

$$\rho = \frac{3}{D^2}. \quad (3)$$

Длина трещин рассчитывалась по формуле Котрелла:

$$L = \frac{2 \cdot \gamma \cdot G}{\pi \cdot (1 - \mu) \cdot \sigma^2}, \quad (4)$$

Внутренние макронапряжения I рода определялись:

$$\sigma_I = \frac{a_{i+1} - a_i}{a_{i+1}} \cdot E, \quad (5)$$

В формулах (1)...(5): E – модуль нормальной упругости; λ – длина волны используемого излучения; θ – брэгговский угол дифракции; ρ – плотность дислокаций; G – модуль сдвига; μ – коэффициент Пуассона; σ – напряжение; a – параметр элементарной атомно-кристаллической решетки; i, i + 1 – номера термического нагружения; 1, 2 – индексы дифракционных линий.

Погрешность экспериментальных результатов охарактеризована по периоду кристаллической решетки материала стенки трубы, доверительный интервал изменения которого при установленной вероятности 95% равен

$\Delta a = \pm 0,0003 \text{ \AA}$. Погрешность измерения макронапряжений I рода σ_I составляет $\pm 5\%$, II рода $\sigma_{II} - \pm 10\%$.

В третьей главе изложены методика и результаты коррозионных испытаний двух партий образцов. Плоские образцы со средними размерами $10 \times 28 \times 5 \text{ мм}$ вырезались из стальной трубы по схеме на рис. 1.

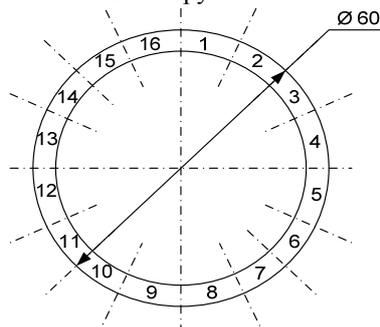


Рис. 1. Схема нарезки и маркировка образцов

Измеренное распределение микротвердости по стенке трубы (рис. 2) свидетельствует о структурной неоднородности трубы в состоянии поставки и развитом поверхностном трещинообразовании на глубине $0,2-0,3 \text{ мм}$. Именно здесь наиболее возможна интенсивная поверхностная коррозия.

Все образцы подвергались механическому прессовым нагрузкам с целью создания остаточных внутренних напряжений и структурных трещин. С использованием рентгеноструктурных исследований, содержание которых изложено в главе 2, получены результаты, характеризующие структурную неоднородность стенки трубы по сечению, и показаны основные закономерности изменения внутренних напряжений при создаваемых процессах упрочнения и разупрочнения.

Первая партия состояла из шестнадцати образцов, каждый из которых (за исключением образца-свидетеля №1) подвергался внешней механической нагрузке. Величина нагрузки была разной и составляла для разных образцов последовательность от 18 до 455 МПа. Было установлено, что различные уровни внешней нагрузки оказывают различное отрицательное действие на образцы. Предполагалось, что, вызывая перераспределение внутренних напряжений за счет микроструктурной повреждаемости, они приведут к общему понижению коррозионной стойкости образцов. Образцы второй партии в количестве 17 штук подвергались одинаковой нагрузке 350 МПа.

После изложенных выше исследований каждая партия образцов подвергалась коррозионным испытаниям. При этом исходное состояние образцов первой и второй партии отличалось не только по предварительному механическому нагружению: образцы второй партии обрабатывались нагревом в паровоздушной среде при температуре порядка $350...370 \text{ }^\circ\text{C}$.

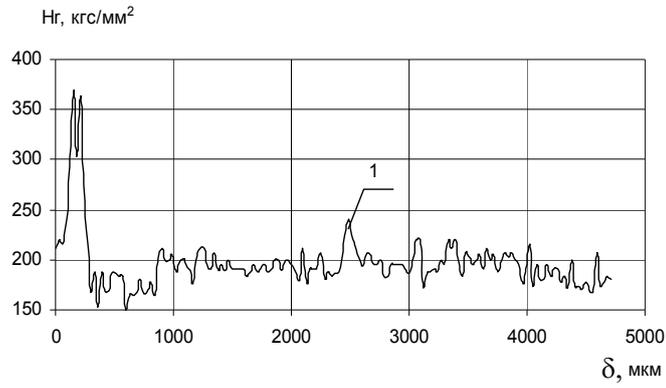


Рис. 2. Изменения микротвердости по толщине стенки трубы (начало на наружной стороне)

Расчетные значения характерной длины микротрещин, сопоставимой с размерами зерна, показаны на рис. 3.

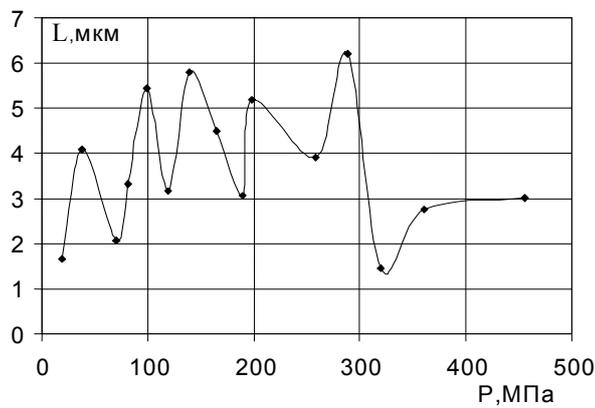


Рис. 3. Зависимость длины трещины L от внешней нагрузки образца трубы после механического нагружения

Коррозионные испытания проводились в установке (рис. 4), включающей рабочий участок (1), представляющий собой трубу из нержавеющей стали 12Х18Н12Т длиной 500 мм, наружным диаметром 20 и толщиной стенки 2,5 мм. Рабочий участок с исследуемыми образцами размещался в печи (2). Труба рабочего участка заполнялась дистиллированной водой. Герметичность обеспечивалась аргоно-дуговой сваркой. Давление водяного пара в полости трубы измерялось образцовым манометром (3). Температура в полости рабочего участка, создаваемая печью, устанавливалась задатчиком (4)

и регулировалась автоматически тиристорным регулятором (5) по показаниям термопары (6). Точное значение температуры считывалось по показаниям ртутного термометра (7). Игольчатый вентиль (8) предназначался для сброса давления и продувки полости рабочего участка.

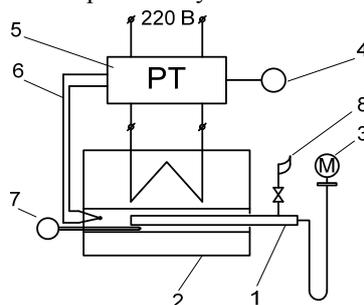


Рис. 4. Схема установки для коррозионных испытаний

Тепловой режим испытаний – стационарный (при установленной температуре), непрерывный. Рабочая часть экспериментов проводилась. При наличии водяного пара сталь окислялась с образованием водорода.

Парциальное давление водорода вычислялось по закону Дальтона: $P_{H_1} = P_0 - P(t_s)$, где P_0 – давление по манометру; t_s – температура насыщения, регистрируемая ртутным термометром; $P(t_s)$ – справочное значение, определяемое по таблицам воды и водяного пара. Температура коррозионных испытаний составляла 230...235 С.

Образцы первой и второй партий испытывались на коррозионную стойкость в среде водяного пара в течение года. Через каждые 6 мес. (соответственно первые и вторые коррозионные испытания) они извлекались из испытательного устройства, устанавливалось изменение их массы, измерялись микротвердость и внутренние структурные напряжения первого и второго рода.

На рис. 5 изображено изменение массы образцов в процессе двух этапов коррозионных испытаний, определенное по формуле $\Delta M = \frac{M_{\text{вых}} - M_{\text{исх}}}{S}$, где $M_{\text{исх}}$ – исходная масса образца; $M_{\text{вых}}$ – масса образца после коррозионных испытаний; S – поверхность образцов.

Динамика выделения водорода характеризуется графиком на рис. 6, отнесенным не ко всему периоду коррозионного испытания, а только к периодам времени между сбросами сверхизбыточного давления из рабочего участка.

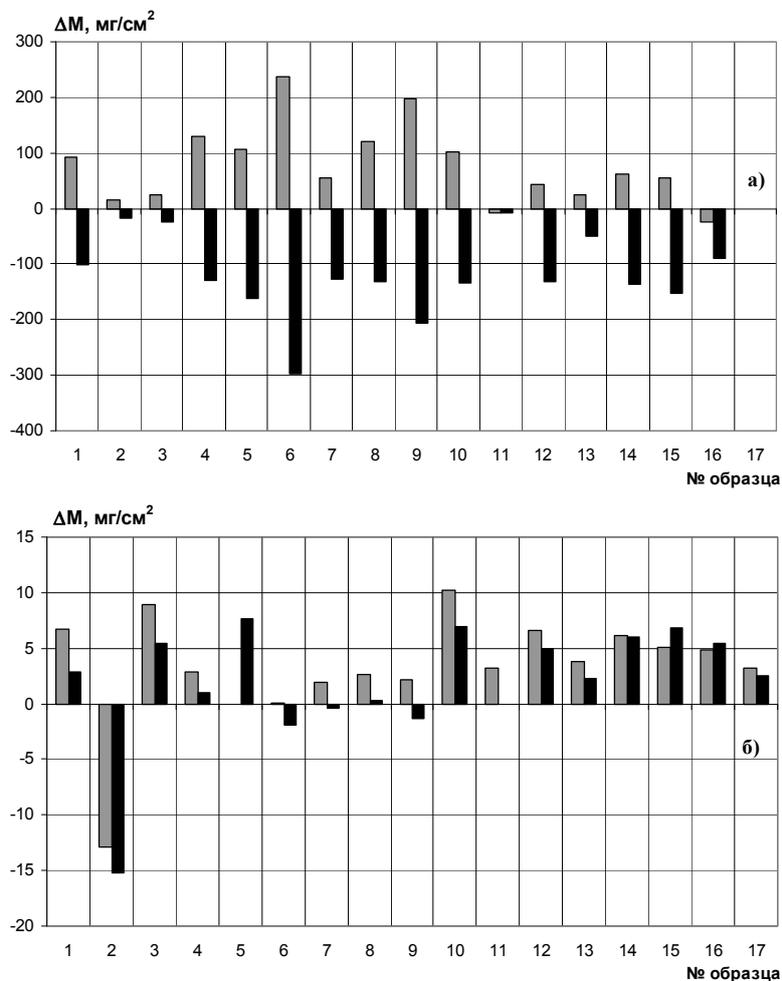
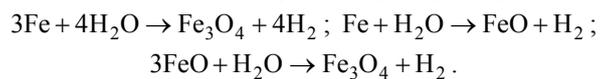


Рис. 5. Изменение массы образцов после коррозионных испытаний: ■ – первые коррозионные испытания; ■ – вторые коррозионные испытания; а) первая партия; б) вторая партия

Результаты первых коррозионных испытаний (рис. 5,а) показывают, что для образцов зафиксирована прибыль массы, которая объясняется образованием высокоплотного оксида Fe_3O_4 , например, по реакциям:



Образование магнетита Fe_3O_4 подтверждено рентгенодифракционным фазовым анализом продуктов коррозии.

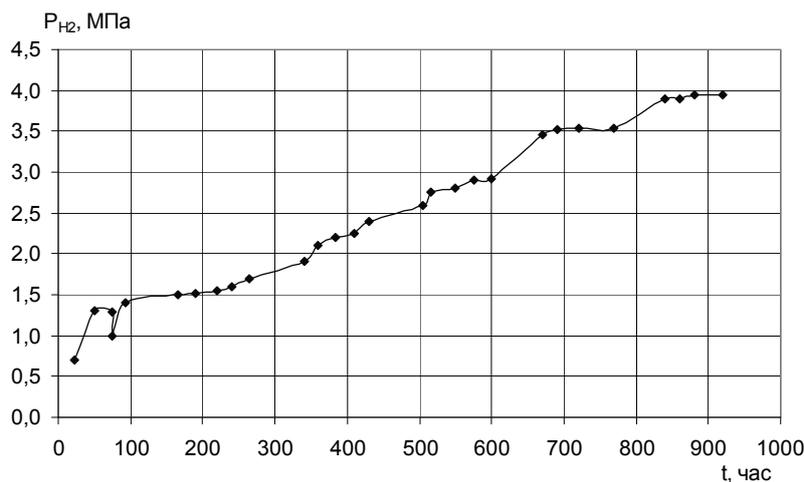


Рис. 6. Динамика изменения давления при выделении водорода в одном коррозионном испытании

Исключением из этого ряда является образец №16, к которому было приложено предварительное нагружение 455 МПа, близкое к значению σ_B временного сопротивления разрушению. Этот образец изначально разрушался за счет приложенной внешней нагрузки и лишь во вторую очередь за счет ползучести.

График на рис. 6 показывает, что процесс протекания коррозии имеет периоды, соответствующие ступенчатому выделению водорода. Это свидетельствует о том, что периоды пассивности образцов сменяются возобновлением коррозии, по-видимому, под слоем образовавшегося Fe_3O_4 .

Второе коррозионное испытание первой партии образцов (рис. 5,а) характеризуется убылью массы для всех образцов, что объясняется отслоением продуктов коррозии и возобновлением коррозионного процесса без пассивации. Одновременно отмечено повышение внутренних структурных напряжений образцов и сопротивления ползучести, т.е. повышение склонности всех образцов к наиболее опасному межзеренному трещинообразованию.

Вторая партия образцов показывает значительно меньшее изменение их массы (рис. 5,б) как в течение первых, так и вторых коррозионных испытаний. Привес массы не превышает 10 мг/см^2 , что в 20...30 раз меньше по сравнению с первой партией образцов. В процессе коррозионных испытаний этих образцов выделение водорода не обнаружено. Эти результаты доказы-

вают эффективность термообработки труб как средства снижения интенсивности коррозии.

Четвёртая глава содержит: обобщения экспериментальных данных о структурной однородности трубы, включающие результаты коррозионных испытаний, приведенных в третьей главе; развитые на этой основе положения, на которых базируются физическая модель коррозионного процесса трубы поверхности нагрева котла, созданная как итог количественных рентгенофазовых исследований состава коррозионных отложений; анализируются процессы, влияющие на интенсивность межкристаллитной коррозии, и обсуждается теоретическая основа для определения параметров термической обработки металла, позволяющей заблокировать процесс электрохимической коррозии теплотрубопроводов и поверхностей нагрева.

Результаты оценки внутренних напряжений для совокупности исследований, проведенных для каждой партии образцов, подтвердили исходную для настоящей работы предпосылку о связи коррозионного поведения материала труб с распределением внутренних напряжений. На рис. 7 и 8 показаны изменения внутренних напряжений второго рода σ_{II} для исходных образцов первой и второй партий, тех же образцов после деформации давлением, после первых и вторых коррозионных испытаний в зависимости от плотности структурных дефектов.

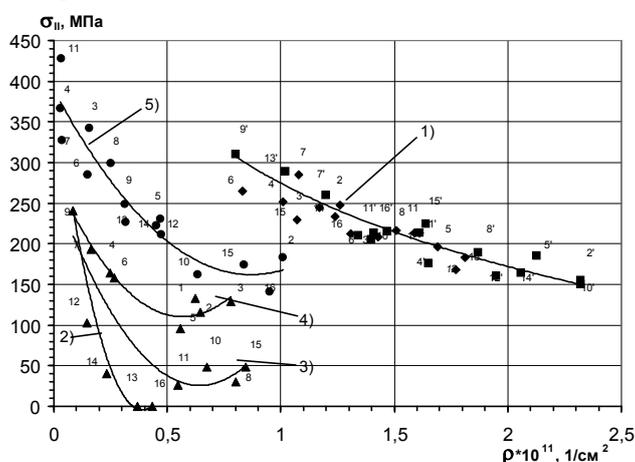


Рис. 7. Зависимость микронапряжений II рода от плотности дислокаций для первой партии образцов: 1) \diamond , \blacksquare – образцы исходные и после пластического деформирования; 2)...4) \blacktriangle – после первых коррозионных испытаний; 5) \bullet – после вторых коррозионных испытаний; 1...16 – номера образцов

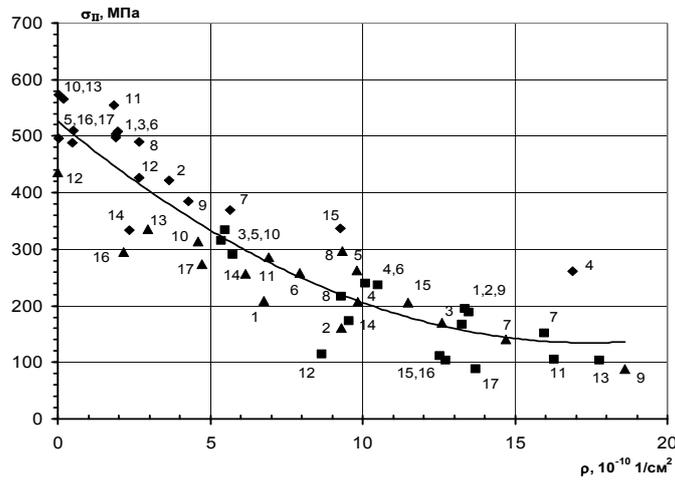


Рис. 8. Зависимость микронапряжений второго рода от плотности дислокаций для второй партии образцов: ◆ – исходные образцы; ■ – после первых и ▲ – вторых коррозионных испытаний; 1...17 – номера образцов

При внешнем воздействии на образец его структурно-напряженное состояние, характеризуемое определенным положением на кривой (рис. 7) преобразуется в другое структурно-напряженное состояние, оставаясь при этом на левой ветви кривой. При этом перемещении с возрастанием плотности дислокаций сопротивление пластическому деформированию уменьшается. При дальнейшем увеличении плотности дислокаций сопротивление пластическому деформированию растет. Состояние образца, характеризуемое положением точки на кривой, определяет его реальную прочность.

Как следует из рис. 7, у образцов первой партии в процессе первых коррозионных испытаний уровень внутренних напряжений снижается по сравнению с исходными образцами, т.е. происходит релаксация внутренних напряжений. При этом для каждого конкретного образца изменяется и плотность дислокаций. Так как при релаксации изменяется плотность структурных дефектов, то происходит пластическая деформация (ползучесть), т.е. повреждаемость образцов порами и микротрещинами ползучести.

В условиях длительного пребывания поверхностей нагрева котлоагрегата под напряжениями и температурой непрерывно развивается процесс разрушения металла в результате ползучести. Полученная экспериментальная зависимость позволяет определять структурно напряженные состояния образцов трубной стали и закладывает предпосылки к установлению связи величины внутренних структурных напряжений разупрочнения металла и потерей его эксплуатационных свойств, которые наблюдаются в трубах поверхностей нагрева в процессе их длительной эксплуатации.

В противоположность этому в образцах второй партии на всех этапах исследований перераспределение внутренних напряжений соответствуют известной базовой кривой Одингга, которая связывает сопротивление пластической деформации со структурными дефектами. Этот факт доказывает то, что процессы внутренней ползучести для этой партии образцов проявляются в гораздо меньшей степени, что является основанием для диагностики коррозионного поведения труб и выработки рекомендаций для минимизации коррозии.

По результатам термоциклических испытаний образца трубы получены кривые зависимости средних внутренних напряжений I и II рода от температуры (рис. 9, 10), на которых отражаются температурные участки пассивации микротрещин: для внутренних напряжений II рода в диапазоне температур 300...400 °С (рис. 9); для зональных напряжений – 240 и 370 °С (рис. 10). Этим устанавливается температура паровоздушной обработки для образца трубы из стали 20, равная 350...370 °С.

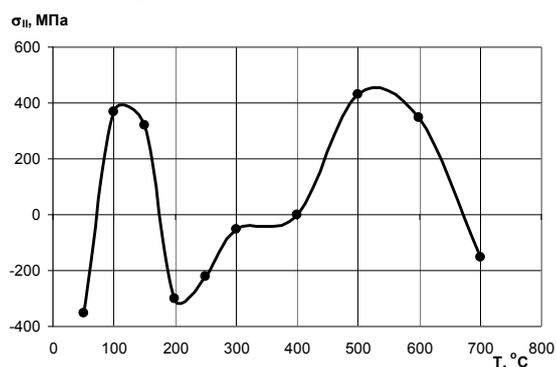


Рис. 9. Средние внутренние микронапряжения II рода образца трубы

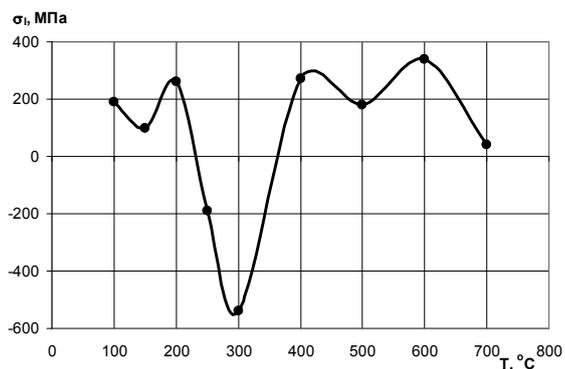


Рис. 10. Средние внутренние напряжения I рода образца трубы

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Экспериментально установлено, что труба из стали 20 в состоянии поставки имеет локальные неоднородные микропластические деформации, которые проявляются в неоднородном распределении внутренних структурных напряжений, что создает предпосылки развития язвенно-питтинговой коррозии.

2. Экспериментально доказано, что перераспределение внутренних напряжений при внешней механической или термической нагрузке, а также в процессе коррозионного разрушения стенки трубы, является следствием микроструктурной повреждаемости, оцениваемой по длине структурной трещины.

3. Характер перераспределения неоднородных внутренних остаточных напряжений является основой прогнозирования коррозионного поведения материала стенки трубы в условиях внешнего механического и термического нагружения, в том числе для ранжирования по склонности к внутризеренной ползучести и внутризеренному типу разрушения.

4. На основе разработки физической модели коррозионного процесса и на базе анализа фазовой структуры продуктов внутритрубных коррозионных отложений показан электрохимический механизм коррозии в структурных трещинах, который может быть заблокирован путем паровоздушной температурной обработки структурно-поврежденных труб со снижением интенсивности межкристаллитной коррозии на один – два порядка.

5. По результатам рентгенодилатометрических исследований определен температурный диапазон 350...370 °С паровоздушной обработки труб для теплотехнического оборудования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ ОТРАЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ

1. Компьютерная программа оперативного планирования наладки водоподготовительных установок / А.В. Казаков, А.И. Артамонцев, Б.В. Лебедев, Г.К. Привалихин // Энергетика: Экология, надежность, безопасность: Материалы докладов VII Всероссийской научно-техн.конф. – Томск: Изд. ТПУ, 2001. – С.106-109.

2. Казаков А.В., Артамонцев А.И., Лебедев Б.В. Компьютерная программа оперативного планирования режимов эксплуатации и наладочных работ водоподготовительных установок котельных // Наука, техника, инновации: Тезисы докладов региональной научн.конф. студентов, аспирантов, молодых ученых, часть 2. – Новосибирск: Изд. НГТУ, 2001. – С.122-123.

3. Привалихин Г.К., Артамонцев А.И. Проблема наладки водно-химического режима котлов БКЗ-75-39 ТМА котельной ОАО «ТНХЗ» // П

семинар вузов Сибири и Дальнего Востока по теплофизике и теплоэнергетике: Тезисы докладов. – Новосибирск: Изд. ИТ СО РАН, 2003. – С.38.

4. Привалихин Г.К., Лебедев Б.В., Артамонцев А.И. Факторы низкого качества водно-химического режима паровых котлов котельных региона // Энергосбережение и энергетическая безопасность регионов России: Материалы докладов IV Всероссийского совещания. – Томск: Изд. ЦНТИ, 2003. – С.62-63.

5. Привалихин Г.К., Артамонцев А.И., Лебедев Б.В. Некоторые вопросы надежности и эффективности работы малых котельных Томской области // Энергетика: экология, надежность, безопасность: Материалы докладов IX Всероссийской научно-техн.конф., Т.1. – Томск: Изд. ТПУ, 2003. – С.178-182.

6. Изменение внутренних напряжений в сечениях котельных труб при пластическом деформировании / А.И. Артамонцев, А.С. Заворин, Л.Л. Любимова, А.А. Макеев // IV семинар вузов Сибири и Дальнего Востока по теплофизике и теплоэнергетике с совместным пленарным заседанием участников «Тихоокеанского энергетического форума 2005». – Владивосток: Изд. ДВГТУ, 2005. – С.35.

7. Рентгенодилатометрические температурные исследования внутренних напряжений стенок труб паровых котлов / А.И. Артамонцев, А.С. Заворин, Л.Л. Любимова, А.А. Макеев // IV семинар вузов Сибири и Дальнего Востока по теплофизике и теплоэнергетике с совместным пленарным заседанием участников «Тихоокеанского энергетического форума 2005». – Владивосток: Изд. ДВГТУ, 2005. – С.44.

8. Влияние структурной неоднородности металла на язвенную коррозию труб паровых котлов / А.И. Артамонцев, А.С. Заворин, Л.Л. Любимова, А.А. Макеев // IV семинар вузов Сибири и Дальнего Востока по теплофизике и теплоэнергетике с совместным пленарным заседанием участников «Тихоокеанского энергетического форума 2005». – Владивосток: Изд. ДВГТУ, 2005. – С.45.

9. Артамонцев А.И., Привалихин Г.К., Тайлашева Т.С. Оценка технической целесообразности варианта реконструкции системы ХВО котельной ООО «Томскнефтехим» // Энергоэффективность, энергосбережение и энергетическая безопасность регионов России: Материалы докладов IV Всероссийского совещания. – Томск: Изд. ЦНТИ, 2005. – С.19-24.

10. Микродилатометрические исследования образцов труб энергетических котлов из новой стали Ди-82ш / А.С. Заворин, Л.Л. Любимова, А.И. Артамонцев, А.А. Ташлыков // IV семинар вузов Сибири и Дальнего Востока по теплофизике и теплоэнергетике с совместным пленарным заседанием участников «Тихоокеанского энергетического форума 2005». – Владивосток: Изд. ДВГТУ, 2005. – С.233-235.

11. Механоциклические исследования образцов труб перспективной стали Ди-82ш для пароперегревателей энергетических котлов / А.С. Заворин, Л.Л. Любимова, А.И. Артамонцев, А.А. Ташлыков // IV семинар вузов Сиби-

ри и Дальнего Востока по теплофизике и теплоэнергетике с совместным пленарным заседанием участников «Тихоокеанского энергетического форума 2005». – Владивосток: Изд. ДВГТУ, 2005. – С.236-238.

12. Артамонцев А.И., Бетхер Т.М., Корженко А.В. О качестве технической документации и исполнении водоподготовительных установок // Энергетика: экология, надежность, безопасность: Материалы докладов XII Всероссийской научно-техн. конф. – Томск: Изд. ТПУ, 2006. –133-136.

13. Рентгенодилатометрические температурные исследования стенки котельной трубы / А.С. Загорин, А.А. Макеев, А.И. Артамонцев и др. // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Том 309. – №5. – С.103-106.

14. Любимова Л.Л., Ташлыков А.А., Макеев А.А., Артамонцев А.И. Изменение внутренних напряжений в сечениях котельных труб при пластическом деформировании // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Том 309. – №6. – С.114-119.

Подписано к печати 27.04.2007 г.
Формат 60x84/16. Бумага офсетная.
Печать RISO. Усл.печ.л. 0.93. Уч.-изд.л. 0.84.
Тираж 100 экз. Заказ № _____. Цена свободная.
Издательство ТПУ. 634050, г.Томск, пр. Ленина, 30.

