



УТВЕРЖДАЮ

Директор

ИНЭПХФ РАН им. В.Л. Тальрозе

В.Н. Емохонов
В.Н. Емохонов

«28» апреля **2017**

Отзыв ведущей организации

на диссертационную работу Ношин Марии Александровны
«Исследование ресурсных характеристик с разработкой методики
определения долговечности котельных пароперегревателей из стали марки
10X13Г12БС2Н2Д2 (ДИ59)», представленную на соискании ученой
степени кандидата технических наук по специальности 05.14.14 –
«Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты»

Опыт длительной эксплуатации пароперегревателей из традиционно используемой в отечественной тепловой и атомной энергетике стали 12X18Н12Т показал, что срок службы пароперегревателей сильно уменьшается при сжигании углей и мазутов с повышенным содержанием серы и ванадия. Для сжигания подобных топлив, а также для повышения температуры пара до сверхкритических значений в ЦНИИТМАШ была разработана сталь ДИ59 с высоким содержанием марганца. С начала 2000-х годов эти стали начали широко внедряться на отечественных тепловых станциях (Харанорская, Черепетская, Кармановская и Костромская ГРЭС), а также нескольких ТЭЦ Мосэнерго. В 2008-2012 годах наблюдались массовые повреждения пароперегревателей из стали ДИ59, которые показали, что используемые методы контроля и предсказания ресурса пароперегревателей из этой стали недостаточно эффективны.

Целью диссертационной работы являлось изучение причин деградации стали ДИ59 при эксплуатации и разработки методики определения остаточного ресурса пароперегревателей из стали ДИ59 по результатам исследования вырезов из труб.

Актуальность темы диссертации не вызывает сомнения.

Используя как методы традиционной металлографии, так и методы элементного рентгеноспектрального анализа, растровой электронной микроскопии и электронно-

зондового микроанализа, автор диссертации детально исследовал условия зарождения, роста и элементного состава сигма-фазы в стали ДИ59.

В диссертации детально исследована длительная прочность металла при рабочих напряжениях, получены зависимости для определения эквивалентной температуры эксплуатации пароперегревателей из стали ДИ59 по содержанию сигма-фазы, разработаны методы расчета длительной прочности и допускаемого напряжения в стали ДИ59 по эквивалентной температуре и времени эксплуатации.

На основании проведенных в диссертационной работе исследований разработана методика определения остаточного ресурса пароперегревателей из стали ДИ59 по результатам металлографического исследования и измерительного контроля вырезов из труб. Элементный состав сигма-фазы в стали ДИ59 и связь ее содержания с размерами зерна, температурой, напряжением и временем эксплуатации установлены впервые.

Диссертационная работа состоит из пяти глав.

В главе 1 дан подробный обзор состояния исследования ресурсных характеристик пароперегревателей из аустенитных сталей котлов ТЭС. Основное количество имеющихся данных относится к пароперегревателям из традиционно используемых сталей 12X18H12T, 12X18H9T. Анализ повреждений пароперегревателей из стали ДИ59 проводился только в 2-х работах.

Подробно рассмотрены преимущества и недостатки сталей 12X18H12T и ДИ59, рассмотрено влияние качества оксидной пленки и окалина на срок эксплуатации труб из сравниваемых сталей. Проанализированы данные по жаростойкости и жаропрочности, структурным превращениям в металле труб, а также влияния легирования и качества изготовления на свойства труб из стали ДИ59.

На момент начала работы автора над диссертацией поведение сигма-фазы изучено только в стали 12X18H12T. Химический состав, условия зарождения и роста количества сигма-фазы в стали ДИ59 не исследовались, а количество данных по длительной прочности ДИ59 в области рабочих напряжений было недостаточным для оценки длительной прочности.

В главе 2 дано подробное описание стали ДИ59 и методик, использованных для ее исследования.

Для определения элементного состава исследуемых образцов использовались искровой оптико-эмиссионный и рентгено-флуоресцентный спектрометры. Методики высокотемпературного старения, испытаний на жаропрочность и металлографического анализа металла являются общепринятыми.

Для исследования структурных превращений в металле исследованных образцов использовался сканирующий электронный микроскоп (Vega3LMH с энергодисперсионным анализатором X-MAX-20).

Для определения элементного состава измерения проводились при энергии электронного пучка 20 КэВ, что позволяло одновременно анализировать элементы от бора до урана.

В главе 3 приведены результаты электронно-микроскопических исследований эволюции сигма-фазы в стали ДИ59. На большом количестве образцов исследованы процессы выделения карбидов по границам зерен, зарождения и роста частиц сигма-фазы.

Исследован элементный состав образующихся в различных условиях частиц сигма-фазы.

На основании впервые полученных данных по росту содержания сигма-фазы при различных условиях эксплуатации разработаны полуэмпирические формулы для расчета эквивалентной температуры, позволяющие оценить остаточный ресурс пароперегревательных труб из ДИ59.

В главе 4 описаны результаты исследований образцов из ДИ59 после испытаний на длительную прочность. Установлено, что разрушение всех исследованных образцов происходит при деформации ползучести металла на уровне 12% и соответствует хрупкому межзеренному излому, обусловленному выделением карбидов и сигма-фазы по границам зерен.

Установлено, что полученные данные по длительной прочности описываются не общепринятой функцией Ларсона-Миллера, а функцией И.И. Трунина, учитывающей температуру эксплуатации.

В главе 5 описана предложенная автором диссертации методика определения остаточного ресурса пароперегревателей из стали ДИ59 и приведены данные по апробации методики на Костромской ГРЭС.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. Оформление диссертации и автореферата соответствует требованиям ВАК.

Достоверность научных положений диссертации обоснована использованием современных сертифицированных машин, печей, приборов и методик для экспериментального исследования, применением при обобщении опытных данных фундаментальных физических законов, удовлетворительным согласованием с известными опытными данными, практическим подтверждением результатов лабораторных исследований.

Существенным недостатком диссертации является отсутствие в разделе 3.2 детального статистического анализа предлагаемых эмпирических формул (3.3-3.7) и не описан способ получения численных параметров в предлагаемых формулах. В частности, из текста диссертации неясно, взяты ли формулы 3.3...3.7 из литературных источников или получены автором в ходе выполнения диссертационной работы. Не показано, что выбранные формулы дают наилучшее соответствие с экспериментальными данными, по сравнению, например, с линейной аппроксимацией.

К недостаткам диссертации следует отнести следующее.

При описании использованных методик (раздел 2.2.1 диссертации, стр. 59 и раздел 3.1, стр. 70) данные, полученные искровой оптико-эмиссионной спектрометрией, РСМА и рентгено-флуоресцентной спектрометрией, по принципу действия определяющих элементный состав образца, называются данными по химическому составу, что терминологически неверно.

При РСМА малых объектов (карбидов и малых частиц сигма-фазы) не снижалось ускоряющее напряжение электронного микроскопа, что могло бы несколько увеличить точность элементного анализа. Все объекты исследовались при энергии пучка электронов 20 КэВ.

В главе 3 на рис. 3.2 (стр. 71) представлено слепое изображение распределения кремния по поверхности образца.

В главе 4 следовало дать детальную интерпретацию причины пониженной длительной прочности стали ДИ59 относительно стандартных данных.

В главе 5 нет данных в пользу магнитной ферритометрии для вырезок из пароперегревательных труб.

В главе 5 не ясны обозначения в приведенных формулах 5.1, 5.2.

Сделанные замечания не снижают ценности рассматриваемой работы. Диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненного автором исследования ресурсных характеристик получены результаты, позволяющие повысить надежность котлов ТЭС с пароперегревателями из стали ДИ59. Работа соответствует специальности 05.14.14 – «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты» и отвечает критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года (с изменениями № 335 от 21 апреля 2016 года).

Автору диссертации Ношин Марии Александровне может быть присуждена ученая степень кандидата технических наук по специальности 05.14.14 – «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты».

Диссертационная работа Ношин Марии Александровны была заслушана и обсуждена на Научном Семинаре ИНЭПХФ РАН им. В.Л. Тальрозе 25 апреля 2017 г. и получила положительную оценку. По итогам обсуждения утвержден настоящий Отзыв ведущей организации (Протокол № 2-17 от 25.04.2017)

Заместитель директора Института по науке

 А.Н. Жигач

Руководитель Семинара

Главный научный сотрудник, д.ф.-м.н.

 А.И. Никитин

Эксперт,

ведущий научный сотрудник, к.ф.-м..н.

 И.О. Лейпунский

Эксперт,

ведущий научный сотрудник, к.т.н.

 Н.Г. Березкина

Адрес для переписки:

119334 Москва, Ленинский просп., 38, корп.2

Тел./факс. +7(499)1378258

E-mail: jan@chph.ras.ru