

4. Полученный рентгеновский диагностический признак стабилизации может быть использован при термической подготовке металла к эксплуатации и термической восстановительной обработке с целью продления ресурса.

Литература:

1. Смыков В.Б. Коррозионные проблемы эксплуатации парогенераторов ЯЭУ. Обзор. ФЭИ-0202. — М.: ЦНИИАтоминформ, 1985.
2. Верещагин Ю.П., Гриневский В.В., Туляков Г.А. Роль структурного фактора при распространении трещин ползучести в перлитной стали // Теплоэнергетика, 1990, №12.
3. Ильина В.П., Троицкая В.А. Влияние структурного состояния на склонность к коррозионному растрескиванию стали 38Х5МСФА. // МИТОМ, 1994, №1.
4. Вайнман А.Б., Мартынова О.И. Исследование механизма образования трещин в литых корпусах паровых турбин высокого давления. // Теплоэнергетика, 1998, №8.
5. Вайнман А.Б., Смиян О.Д. О механизме образования коррозионных трещин в металле паропроводов высокого давления. // Теплоэнергетика, 1993, №8.
6. Скоробогатых В.Н., Борисов В.П., Щенкова И.А. Перспективы совершенствования трубной продукции для изготовления котлов и паропроводов высокого и сверхкритического давления. // Теплоэнергетика, 2001, №4.
7. Финкель В.А. Высокотемпературная рентгенография металлов. — М.: Металлургия, 1968.
8. Масленков С.Б., Масленкова Е.А. Стали и сплавы для высоких температур. // Справ. изд., кн.1.— М.: Металлургия, 1991.
9. Тумановский А.Г., Резинских В.Ф. Стратегия продления ресурса и технического перевооружения тепловых электростанций. // Теплоэнергетика, 2001, №6.

УДК 621.184.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРУБЫ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ

А.А. Макеев, Л.Л. Любимова, А.М. Казанов
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: aleks@ped.tpu.ru

Жаропрочные и жаростойкие стали перлитного класса для производства труб паропроводов высокого и сверхвысокого давления и высокотемпературных пароперегревателей марок 12ХМ, 15ХМ, 12Х1МФ, 15Х1МФ разработаны для применения при рабочих температурах пара 565...600 °С. Впоследствии в начале 70-х годов расчетная температура пара была директивно понижена до 545 °С, а затем и до 510 °С, а парковый ресурс труб сокращен с 300000 до 100000 часов. Установленная в ходе эксплуатации пароперегревателей повышенная повреждаемость приписывается к технологической слоистости и микроструктурообразованию, отмечаются явления расслоения и плохой прокаливаемости. Вследствие вышеописанных затруднений допустимые температуры применения трубной стали пароперегревателей были поэтапно понижены с 585 °С до 530 °С [1].

Отмеченные практикой недостатки труб пароперегревателей, выявленные опытом эксплуатации, выработка ресурса большинства станций (проектный – 100000 часов), снижение капиталовложений и расходов на капитальный ремонт делают актуальными вопросы прогноза работоспособности действующего оборудования на основе анализа физических возможностей металла. В процессе постановки задачи исследований термического сопротивления стенки трубы пароперегревателя предполагалось:

1. Расчетное термическое сопротивление стенки труб не учитывает микроструктурные повреждения, расслоение и текстурированность стали при прокатке и поэтому представляется существенно заниженным.
2. Температурные режимы термообработки не приводят к нормализации структуры, поэтому процесс доводки стали осуществляется в ходе эксплуатации под действием внешних и внутренних напряжений.
3. Процессы ползучести трубной стали способствуют концентрированию микроструктурных дефектов.

Нарушение условий однородности, сплошности и изотропности материалов делают непригодными методики расчета и прогнозирования термического сопротивления на основе линейных уравнений теплопроводности. В этой связи прогнозирование температурной обстановки в стенках труб, особенно при плотности тепловых потоков свыше $0.2-0.3 \text{ МВт/м}^2$, требует вскрытия эффектов и закономерностей неизотропной теплопроводности в пористых зернисто-дисперсных системах.

Исследования термического сопротивления выполнены на образце трубы стали 12Х1МФ (состояние поставки) в вакууме при термоциклических термических нагрузках. Результаты испытаний продемонстрировали, что значения теплопроводности, полученные на эталонных образцах стали и заложенные в дальнейшем в основу расчетных методик определения термического сопротивления [2], не соответствуют измеренным значениям термического сопротивления стали стенок трубы и представляются завышенными в 10-12 раз, рис.1.

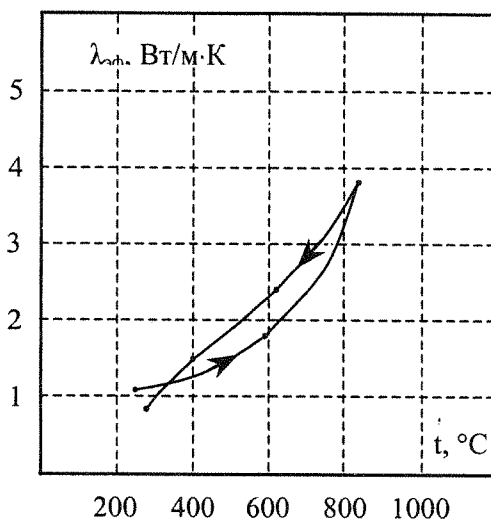


Рис.1. Изменение эффективной теплопроводности стенки трубы из стали 12Х1МФ.

Это объясняется известной металлургам слоистостью стали, возникающей при прокатке, которая относится к трудноустраняемым дефектам и имеет свойственное название «свиля» или «волосовин». Чаще всего слоистость проявляется в жаропрочных сталях с низкой ползучестью и пластичностью. Ближайший аналог слоистой стали - пакет стальных лезвий, например, в количестве 304 штук, сжатых контактным давлением 1,06 МПа, имеющий в 60 раз меньшую теплопроводность по сравнению со сталью, из которой они изготовлены [3].

Встречающиеся явления неизотропной теплопроводности стенок стальных труб проявляются на практике плохой прокаливаемостью, для устранения которой используют нормализующий отжиг. Время и температура нормализующего отжига, определяемые металлографической практикой, не отражают микроструктурные изменения и нуждаются в научном обосновании. В этой связи необходимость разработки эталонов и норм количественной оценки дефектности стенок труб надо относить к актуальным проблемам энергомашиностроения. По результатам выполненных ресурсных термоциклических испытаний образца трубы пароперегревателя из стали 12Х1М1Ф установлено:

1. Термическое сопротивление стенки трубы приобретает устойчивые значения за время, зависящее от рабочей температуры.
2. В процессе стабилизации отмечается 3 характерных участка: а) начальный; б) монотонно повышающийся; в) монотонно понижающийся.
3. Выделяется температурная область в диапазоне от 600-640 °С до 700-750 °С, в которой происходит снижение термического сопротивления в 1.5-2 раза.
4. Эффективная теплопроводность стенки трубы из стали 12Х1МФ увеличивается с повышением температуры.
5. Термическое сопротивление стенки трубы в неустойчивый период характеризуется температурным гистерезисом.

Температурные физические и рентгеновские исследования материала стенок труб пароперегревателей позволяют связать характерные особенности поведения термического сопротивления и структуры стали и поэтому могут привести к разработке методов диагностики качества труб. Базируясь на измерениях термического сопротивления, можно определить время нормализующего отжига. Существует необходимость закладывать в основу методов расчета рабочих температур стенок труб пароперегревателей нелинейные зависимости и параметры неизотропной теплопроводности.

Литература:

1. Антикайн П.А. Металлы и расчет на прочность котлов и трубопроводов. - 2-е изд. перераб. – М.: Энергия, 1980.
2. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники: Справочник. – М.: Атомиздат, 1968.
3. Кокорев Л.С., Харитонов В.В. Теплогидравлические расчеты и оптимизация ядерных энергетических установок: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.И. Субботина. – М.: Энергоатомиздат, 1986.