

© А.В. Серебряков, М.М. Розенбаум, М.А. Розенбаум, 2012 г.  
ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

г. Екатеринбург

*mmr@mtf.ustu.ru*

© Ан.В. Серебряков, 2012 г.

Первоуральский новотрубный завод, г. Первоуральск

*Andrey.Serebryakov@chelpipe.ru*

© С.В. Смирнов, 2012 г.

ИМАШ УрО РАН, г. Екатеринбург

*svs@imach.uran.ru*

## **КАЧЕСТВО ТРУБ ИЗ КОРРОЗИОННОСТОЙКОЙ СТАЛИ ДЛЯ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ АЭС**

Высокий уровень безопасности и надежности АЭС является главным условием функционирования атомной энергетики. Проектный срок службы основного оборудования АЭС должен составлять 60 лет (вместо прежних 30 лет) [1].

В состав оборудования АЭС входят парогенераторы – установки для выработки пара, подаваемого на турбину.

Работоспособность парогенератора является одной из важнейших составляющих безопасной эксплуатации АЭС. Парогенераторы являются и наиболее повреждаемым оборудованием АЭС [2].

Теплообменные трубы – один из наиболее ответственных и металлоемких элементов, определяющих фактический срок службы парогенератора на АЭС. Выход их из строя приводит к длительной остановке всего агрегата и к значительным экономическим убыткам.

Исследования, проведенные Центральным научно-исследовательским институтом конструкционных материалов «Прометей» (г. Санкт-Петербург) и опытно-конструкторским бюро «Гидропресс» (г. Подольск) показали, что при эксплуатации парогенератора основной причиной выхода из строя теплообменных труб является зарождение и последующее развитие коррозионных дефектов [3; 4; 5].

В основном повреждения металла теплообменных труб парогенератора вызываются коррозионными процессами под слоем локального скопления шлама состоящего преимущественно из окислов железа и меди. Наличие отложений приводит к созданию локальных условий коррозионной среды. Наиболее интенсивно отложения образуются на более шероховатой поверхности. Кроме того, наличие на поверхности теплообменных труб дефектов в виде продольных рисок, царапин также снижает их коррозионную стойкость.

Дефекты, возникающие при эксплуатации труб парогенератора, предопределены технологией изготовления труб. Такие характеристики как качество поверхности, топография и параметры шероховатости поверхности, остаточные напряжения в трубах и поверхностный наклеп металла, в настоящее время не нормируются техническими требованиями к трубам.

При изготовлении парогенератора используют трубы бесшовные холоднодеформированные из стали марки 08X18H10T размером 16x1,5 мм с повышенным качеством поверхности. Трубы поставляют по ТУ 14-3Р-197-2001 либо ТУ 187-ТУ-039С. В состоянии поставки поверхность труб может быть травленная, шлифованная, электрохимполированная.

Технология изготовления труб для парогенераторов АЭС включает совокупность операций горячей и холодной деформации, термической и механической обработки, химико-технологической обработки (ХТО). Каждая из указанных операций определяет качество труб.

Например, при холодной прокатке могут возникать следующие дефекты: деформационные трещины, задиры, риски и т.д. Термическая обработка в окислительной атмосфере приводит к росту шероховатости поверхности труб.

Кроме того, финишной операцией технологии является травление, или шлифование или электрополирование поверхности труб. Химическое травление увеличивает шероховатость поверхности труб, кроме того возможно образование дефекта типа «растрав». После абразивного шлифования на поверхности остаются риски, которые определяют структуру и шероховатость. Электрохимическое полирование сглаживает микрорельеф поверхности, однако дефекты типа «складка», «риска» сохраняются, в некоторых случаях их размеры могут увеличиваться. Применение этих операций не гарантирует требуемого качества поверхности и создает проблему получения труб высокой точности размеров.

Сотрудниками Первоуральского новотрубного завода, УрФУ (Институт материаловедения и металлургии), Института машиноведения УрО РАН проведены ряд исследований качества труб в состоянии поставки разных заводов-изготовителей. Микроструктуру металла труб определяли в соответствии с требованиями ТУ14-3Р-197-2001 по ГОСТ 1778 и ГОСТ 5639.

Качество поверхности исследовали на растровом электронном микроскопе PHILIPS SEM 535 с приставкой для энергодисперсионного микроанализа химического состава EDAX Genesis 2000 в режиме отраженных электронов.

Фазовый состав и остаточные напряжения определяли с помощью рентгеноструктурного анализа на дифрактометре Shimadzu XRD-7000.

Шероховатость поверхности определяли на оптическом профилометре Optical profiling system Veeco WYKO NT1100.

Поверхностный наклеп исследовали с использованием системы для измерения микротвердости FISCHERSCOPE HM2000 Хум.

Состояние поверхности (шероховатость, остаточные напряжения, поверхностный наклеп) труб разных заводов-изготовителей сопоставимо.

Ужесточение требований к безопасности АЭС определяет новые, более высокие требования к качеству труб. А это делает актуальной задачу повышения качества поверхности холоднодеформированных труб из коррозионностойких сталей. В свою очередь решение этой задачи обеспечит увеличение ресурса и надежности работы АЭС.

### **Список использованных источников**

1. *Кириенко С.В.* Развитие российской атомной отрасли // АТОМЭКСПО 2009: Международный форум, Москва, май 26-28, 2009.
2. *Немытов Д.С.* Влияние эксплуатационных и конструкционных факторов на ресурс теплообменных труб парогенераторов АЭС с ВВЭР-1000: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Москва, 2009.
3. *Карзов Г.П.* Оценка динамики зарождения и развития повреждений теплообменных труб парогенераторов типа ПГВ-1000 в рабочих режимах / Г.П. Карзов, С.А. Суворов, В.А. Федорова и др. // 7-й Междунар. семинар по горизонтальным парогенераторам, ФГУП ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 3-5 октября, 2006.
4. *Карзов Г.П.* Анализ механизмов повреждения теплообменных труб на различных этапах эксплуатации парогенераторов типа ПГВ / Г.П. Карзов, С.А. Суворов, В.А. Федорова, А.В. Филиппов, Н.Б. Трунов // Proceeding of the Ninth International Conference on Material ISSUES in Design, Manufacturing and Operation of Nuclear Power Plants Equipment 6-8 June, 2006. Pushkin-St-Petersburg, Russia.
5. *Неклюдов И.М.* Исследование причин образования коррозионных дефектов в теплообменных трубах парогенераторов ПГВ-1000 /И.М. Неклюдов, Л.С. Ожигов, А.С. Митрофанов, С.В. Гоженко // Коррозионные повреждения теплообменных труб парогенераторов Южноукраинской АЭС : сб. науч. трудов СНИЯЭиП. Вып. 8. 2003. С. 50–63.