

МЕТОДИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА ТРУБОПРОВОДОВ ЭНЕРГОБЛОКОВ С РУ ВВЭР-1000

*Н.В.Васильев, Э.Османов, В.А.Петров, В.В.Рогожкин, Ю.В.Сапёлкина
ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», г.Санкт-Петербург, Россия*

В роботі узагальнено результати методичних опрацювань та практики проведення контролю механічних властивостей основного металу та металу зварних швів трубопроводів РУ ВВЕР-1000 після 100 тис. годин експлуатації. З використанням оцінок механічних властивостей, які залежать від старіння, розглянуто питання подовження строку експлуатації трубопроводів діючих блоків АЕС з ВВЕР-1000 України та Росії.

В работе обобщены результаты методических проработок и практики проведения контроля механических свойств основного металла и металла сварных швов трубопроводов РУ ВВЭ-1000 после 100 тыс. ч. эксплуатации.

С использованием оценок механических свойств, зависящих от старения, рассмотрен вопрос о продлении срока эксплуатации трубопроводов действующих блоков АЭС с ВВЭР-1000 Украины и России.

The results of the methodical development and the results of the base material and of the weld metal mechanical properties control for the RU WWER-1000 tubing after 100 thousand hours of service are generalized.

The problem of the tubing service life extension for the operating Power Station blocks of WWER-1000 of Russia and Ukraine is considered on the base of the control of mechanical properties that depend on ageing.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Цель периодического эксплуатационного контроля металла трубопроводов АЭС (после длительных периодов эксплуатации, кратных 100 тыс.ч.) в объеме требований ПНАЭ Г-7-008-89 (п.7.6.3) состоит в выявлении и фиксации **изменений механических свойств и структуры металла** сварных соединений и основного металла.

В условиях отсутствия значимого флюенса нейтронного потока основным фактором изменений механических свойств являются процессы длительного низкотемпературного термического старения [1, 2] и накопления циклических повреждений. Ввиду отсутствия существенных пластических деформаций в трубных элементах, своевременно прошедших нормализацию и высокий отпуск, процессы деформационного старения в них вряд ли развиты. Поэтому главное внимание должно быть уделено контролю механических свойств, наиболее чувствительных к старению и определяющих возможность хрупкого разрушения (**критическая температура хрупкости, ударная вязкость, вязкость разрушения и т.п.**) металла шва, зоны термического влияния и основного металла.

Отдельные отклонения уровня механических характеристик от нормативных значений, не связанные с эксплуатационным воздействием, могут быть следствием нарушения технологии выполнения сварки при монтаже/ремонте трубопроводов. Выявление таких нарушений также является задачей эксплуатационного контроля.

Настоящее сообщение посвящено отдельным, принципиальным на наш взгляд, аспектам проблемы

периодического эксплуатационного контроля металла трубопроводов АЭС после длительных периодов эксплуатации.

2. ВЫБОР ЗОН КОНТРОЛЯ

Перечень трубопроводов, подлежащих обязательному контролю металла, включает трубопроводы систем группы В для ВВЭР-1000 (приложение 2 ПНАЭ Г-008-89).

Назначение **основного перечня** зон контроля трубопроводов следует производить по согласованию с конструкторской и головной материаловедческой организациями **на этапе проектирования энергоблока** на весь период эксплуатации трубопроводов. **Дополнительный перечень** должен формироваться исходя из результатов эксплуатации данного и аналогичных энергоблоков.

Перечень **зон контроля** должен в обязательном порядке включать участки трубопроводов:

- 1) важные для безопасности и эксплуатационной надежности энергоблока;
- 2) содержащие наиболее напряженные сечения (согласно Расчетам на прочность);
- 3) имеющие аномальную структуру и/или твердость;
- 4) претерпевшие 2-3-х и более кратные ремонтные воздействия с использованием сварки;
- 5) имеющие сварные стыки с выявленными при предэксплуатационном и эксплуатационном контроле дефектами;

- 6) допускающие вырезку проб металла для изготовления и испытания стандартных образцов;
- 7) сохранившие металл, отошедший при ранее произведенном ремонте;
- 8) сохранившие металл сварных проб.

При выборе зон контроля необходимо также учитывать существенную неоднородность объектов контроля (системы трубопроводов), состоящих из множества трубных элементов различной конструкции и степени влияния на безопасность и эксплуатационную надежность энергоблока, обеспечивать **представительность** по материалам и конструкциям.

Поэтому перечень зон контроля металла трубопроводов должен быть **представителен**:

- 1) по типам конструктивных элементов трубопроводов;
- 2) по примененным основным и сварочным материалам;
- 3) по заводским и монтажным стыкам;
- 4) по сертификатным данным.

3. ВЫБОР КОНТРОЛИРУЕМЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Перечень контролируемых механических свойств должен включать механические свойства металла шва и основного металла, используемые в Расчетах на прочность (приложения к паспорту трубопровода), а также другие свойства, значения которых регламентированы в ТУ на изготовление (поставку) трубных элементов и в действующей НД.

Особое внимание следует уделить контролю механических свойств, наиболее чувствительных к старению и определяющих возможность хрупкого разрушения (критическая температура хрупкости, вязкость разрушения и т.п.).

Указанные свойства, в отличие от кратковременных свойств, **не коррелируют** с твердостью, однако объективно **характеризуют старение** металла и его способность к сопротивлению хрупкому разрушению. Нами экспериментально установлен повышенный уровень критической температуры хрупкости **основного металла**, а также низкая ударная вязкость **металла шва** трубопроводов питательной воды РО ВВЭР-1000 после наработки 100 тыс. ч.

Кратковременные свойства теплостойких трубных сталей **слабо** зависят от эксплуатационной наработки и не могут быть признаны достаточными при выполнении требований ПНАЭ Г-7-008-89 (п.7.6.3).

Контроль параметров сопротивления хрупкому разрушению металла трубопроводов после наработки **свыше** 100 тыс. ч. должен являться **обязательным**, а их значения – **основными** для принятия решения о возможности продления срока эксплуатации трубопровода.

4. ВЫБОР МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ

Опыт контроля свойств металла на энергоблоках АЭС показал преимущество комплексного подхода

при выборе методик (разрушающего и неразрушающего) контроля свойств металла. В связи с практической невозможностью выполнения неразрушающими методами контроля регламентированных НД и ТУ **ударной вязкости и критической температуры хрупкости** металла смонтированных трубопроводов, нами для строящихся энергоблоков разработана система контроля металла основных трубопроводов РУ на основе специальных образцов-свидетелей.

Контроль уровня механических характеристик **неразрушающими** экспрессными методами, основанными на измерениях твердости, обеспечивает представительность и максимальный охват (40...50 зон контроля на трубопроводах РУ ВВЭР-1000), но лишь в объеме **кратковременных свойств**.

Контроль механических характеристик **разрушающими** методами согласно ПНАЭ Г-7-002-86 (Приложение 2), основанными на пробах металла, обеспечивают измерение (помимо кратковременных свойств) регламентированных НД и ТУ **ударной вязкости, критической температуры хрупкости и вязкости разрушения** металла швов и основного металла трубопроводов.

Неразрушающие измерения механических свойств металла трубопроводов должны производиться методами, апробированными на металле с сопоставимой наработкой и подтвержденными **разрушающими испытаниями** стандартных образцов из отработавшего металла. Определение температурно-зависимых механических характеристик также должно выполняться с использованием экспериментально измеренных температурных зависимостей на стандартных образцах отработавшего металла.

Контроль **механических свойств** должен предшествовать **контролю структуры металла** с целью подтверждения соответствия структуры металла требованиям ТУ, отсутствия видманшtedтовой структуры, обезуглероженного слоя, поверхностного наклепа, металлургических или сварочных дефектов в зоне контроля

Нами выявлены случаи аномальной (видманшtedтовой) структуры металла гибов на трубопроводах питательной воды (ст.20).

5. КРИТЕРИИ КОНТРОЛЯ

Критерием контроля является соответствие фактического уровня механических свойств и структуры металла трубопроводов **исходным** предположениям Проекта РУ и требованиям действующей НД.

Зафиксированные изменения уровня механических свойств (относительно данных сертификатов и исходных значений), **не выходящие за пределы ТУ**, должны быть статистически обоснованы, а сертификаты проанализированы на достоверность данных.

Зафиксированные изменения уровня механических свойств, **выходящие за пределы ТУ**, должны быть подтверждены независимыми методами контроля механических свойств металла.

Результаты контроля механических свойств металла конструктивных элементов трубопроводов должны быть проанализированы с учетом:

- результатов предмонтажного контроля металла;
- результатов контроля металла трубопроводов после 100 тыс. ч. эксплуатации на других энергоблоках типа ВВЭР.

Важным аспектом постановки контроля является **фиксация исходного состояния** металла (исходного уровня твердости, механических свойств и структуры) в зонах контроля **основного перечня** (см.п.2) перед пуском энергоблока, а также после их контроля в период эксплуатации. Лаборатории металлов и сварки целесообразно вести **информационный банк** данных механических свойств металла трубопроводов СВБ, а также накапливать образцы металла, отошедшие при ремонте трубопроводов или замене оборудования (ПГ, арматура и т.п.).

Значимые изменения механических свойств и структуры металла трубопроводов, выявленные в зонах контроля, должны быть документально зафиксированы в паспорте трубопровода, проанализированы причины и следствия выявленных изменений.

6. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЯ

Учитывая объективный и субъективный характер несоответствия уровня механических свойств и структуры требованиям Проекта и действующей НД (старение металла, пропущенный на монтаж металлургический брак, различные дефекты сварки на монтаже и ремонте, некачественную термообработку при сварке, перепутанные сертификаты, нарушения при подготовке трубной поверхности под контроль и т.п.), а также отличия свойств металла трубных элементов разных производителей, партий, плавок, требования статистической представительности и условий пробоотбора, **считаем важным:**

- контроль механических свойств выполнять не менее, чем в трех зонах на каждом контрольном элементе трубопроводов;
- количество уколов (при замере твердости) на основном металле, металле шва – не менее пяти;

- контроль микроструктуры выполнять не менее чем в одной зоне на каждом контрольном элементе трубопроводов.

7. ТРЕБОВАНИЯ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ПРОВЕДЕНИЯ КОНТРОЛЯ

Рабочая программа контроля должна обязательно содержать:

- перечень контрольных элементов (КЭ),
- исполнительные схемы контролируемых трубопроводов с указанием КЭ,
- карты (схемы) контроля для каждого КЭ с указанием зон и участков контроля.

Выбор или назначение **контрольных элементов** выполнять по согласованию с головной материалovedческой и конструкторской организациями при первом контроле на весь период эксплуатации трубопроводов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Организация и проведение периодического эксплуатационного контроля металла трубопроводов АЭС на основе перечисленных выше требований позволяет оперативно получить объективные и представительные данные о соответствии Проекту и действующей НД и системно решить вопрос о продлении срока эксплуатации трубопроводов СВБ в объеме ПНАЭ Г-7-008-89 (п.7.6.3).

Авторы выражают глубокую признательность Зеленину Александру Викторовичу, начальнику ЛМ Калининской АЭС, Мельнику Петру Евтиховичу, начальнику лаборатории материаловедения Южно-Украинской АЭС за помощь в проведении работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.В.Слезов, В.В.Рогожкин, А.С.Абызов. Конкуренция фаз на поздней стадии диффузионного распада // *ФТТ*, 1998, т.40, №4, с.655-657.
2. В.В.Слезов, В.В.Рогожкин, О.А.Осмаев. Поздняя стадия эволюции выделений новой фазы сложного состава на межзеренной границе. // *ФТТ*, 1995, т.37, №10.