О влиянии внешних силовых факторов на техническое состояние паропроводов электростанций

МЕДВЕДЕВ В.Д.
Начальник службы металлов и сварки, эксперт

ПОПКОВ А.А.
Начальник отдела экспертизы и диагностирования, эксперт

ЮНУСОВ М.М.
Начальник отдела неразрушающего и разрушающего контроля, эксперт

РОГОВ Р.Н.
Начальник лаборатории отдела экспертизы и диагностирования, эксперт

ЗАВОДСКОЙ А.В.
Начальник лаборатории отдела экспертизы и диагностирования, эксперт

ООО ИЦ «Энергопрогресс»
E-mail: inbox@eprog.tatenergo.ru

Представлена краткая оценка влияния различных силовых факторов на техническое состояние паропроводов электростанций.

Инженерный центр «Энергопрогресс» проводит работы по техническому аудиту и экспертированию объектов котлонадзора с 1995 года. На предприятии работают аттестованные специалисты и эксперты, обеспечивающие профессиональный подход к вопросам обеспечения промышленной безопасности оборудования потенциальных заказчиков.

Имеющееся в составе предприятия подразделение «Служба металлов и сварки» обеспечивает проведение работ по техническому диагностированию и экспертизе промышленной безопасности, согласно требованиям [1, 2], следующих объектов котлонадзора:

- сосуды, отработавшие нормативный срок службы: подогреватели высокого давления, подогреватели низкого давления, подогреватели сетевой воды, расширители непрерывной продувки, ресиверы воздуха, водорода, углекислоты, подогреватели мазута;

- трубопроводы пара и горячей воды, отработавшие нормативный срок службы или парковый ресурс с параметрами: температура – до 540° С, давление – до 140 кгс/см^2;

- паровые и водогрейные котлы ДКВР 20-13, ДЕ 16-14ГМ, ПТВМ-50, 100, 180, КВ-ГМ-180;

- элементы энергетических котлов (барабаны, коллекторы пароперегревателей) ТГМ-84, ТГМ-96, ТГМЕ-464, БКЗ-75.

Паропроводы современных тепловых электростанций представляют собой сложные пространственные системы, состоящие из прямых труб, гибов, тройников, конических переходов, компенсаторов, опор, подвесок, запорной, регулирующей и предохранительной арматуры [3]. Такие системы, как правило, подвержены многофакторному нагружению, что обуславливает их сложное напряженно-деформированное состояние на всех этапах жизненного цикла.

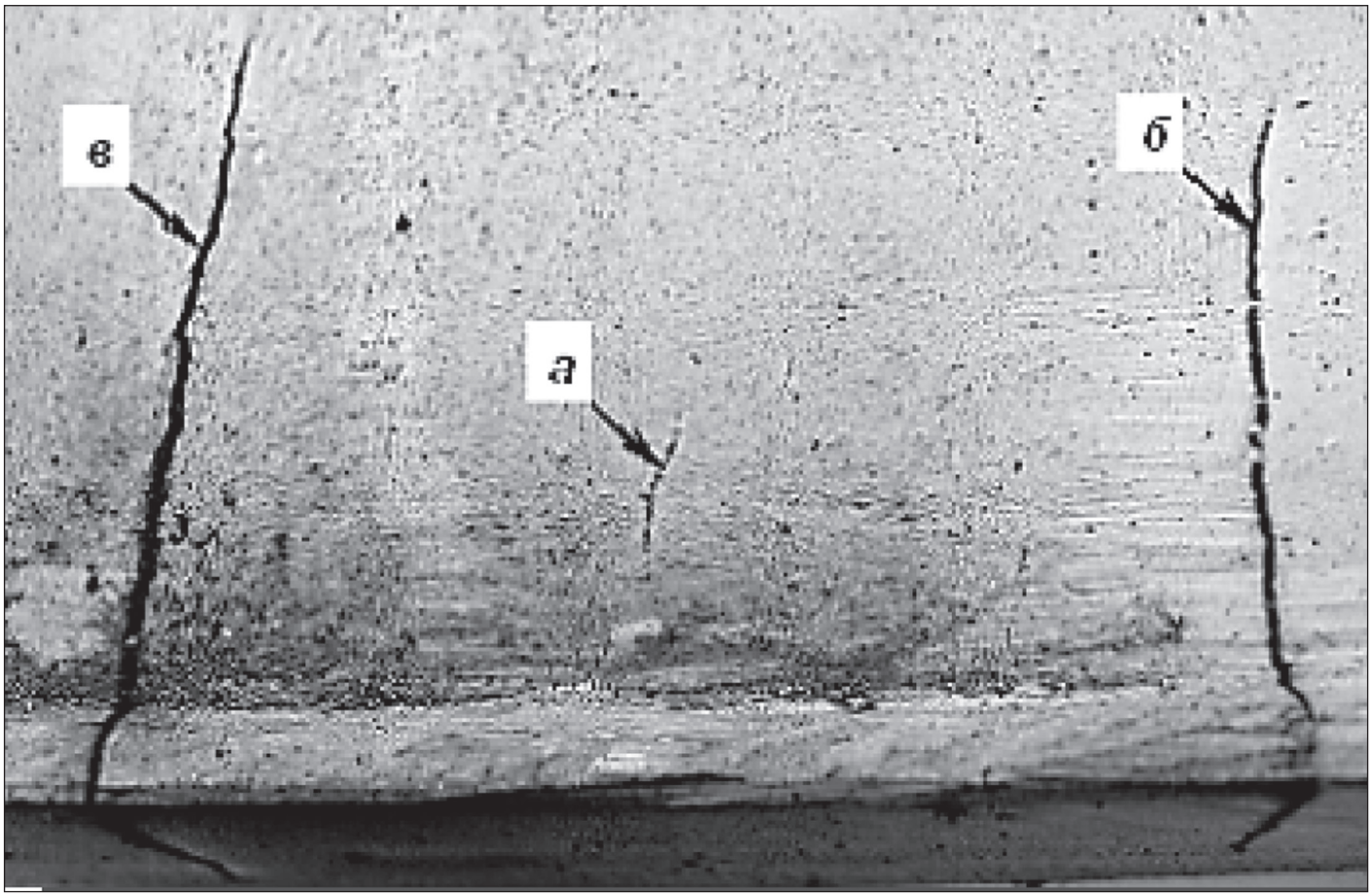
Обычно в качестве основной нагрузки принято принимать внутреннее давление, что и учитывается при составлении норм расчета паропроводов на прочность [4]. Дополнительными нагружающими факторами для паропроводов являются изгибающие и крутящие моменты, возникающие в результате самокомпенсации температурных удлинений трасс. К дополнительным нагружающим факторам относится также весовая нагрузка паропроводов, включающая вес металла и тепловой изоляции. Она обусловливает возникновение в паропроводе дополнительных изгибающих и крутящих моментов. В ряде случаев на паропроводы действует также дополнительная нагрузка от внешних сил (ветровая нагрузка при наружной прокладке, динамическое воздействие потока пара в местах поворота трасс, в выхлопных линиях от предохранительных клапанов и др.).

Как правило, напряжения в паропроводах от действия моментов, обусловленных самокомпенсацией температурных удлинений паропроводов, благодаря применению монтажной растяжки паропроводов и вследствие релаксации напряжений, в рабочем состоянии близки к нулю. При этом они максимальны и имеют противоположный знак в холодном состоянии [5].

Напряжения, обусловленные весовой нагрузкой, действуют как в холодном паропроводе, так и в его рабочем состоянии, однако их величины в этих состояниях существенно различаются. Это обусловлено температурной деформацией паропроводов при их прогреве и температурными перемещениями трасс, приводящими к дополнительным деформациям пружин и перераспределению нагрузки между опорами.

Существенным нагружающим компонентом для паропроводов [5] являются напряжения от различных видов температурной неравномерности (по толщине стенки, вдоль оси паропровода, в окружном направлении), которые считаются основным фактором, ограничивающим скорость их прогрева и расхолаживания в пуско-остановочных режимах.

Как отмечено выше, помимо всего прочего, паропроводы могут подвергаться действию вибраций, причиной возникновения которых могут быть пульсации теплоносителя, а также работающие силовые агрегаты (насосы, турбины и т.п.). Необходимость учета данного вида воздействий обусловлена, прежде всего, возможностью возникновения на трассе паропроводов резонансных явлений, при которых динамические напряжения в паропроводах, а также в смежном обору-



Трещины в материале вырезки из обечайки барабана котла

довании достигают величин, сравнимых с пределом усталости металла [6]. Длительное действие такой вибрации в сочетании с рассмотренными выше силовыми факторами может приводить к образованию в элементах оборудования трещин, с последующим выходом его из строя. Так, в монографии [7] рассмотрен случай повреждения обечайки барабана парового котла, обусловленного повышенной вибрацией примыкающих к котлу паропроводов.

Результаты исследования дефектных участков котла (см. рис. (заимствован из [7]) показали, что появление поверхностных трещин (а – 9 мм, б – 32 мм, в – 42 мм) было обусловлено воздействием на металл стенки знакопеременных изгибающих напряжений высокой частоты, вызываемых вибрационными нагрузками от паропроводов и передаваемых на стенку обечайки через вваренный в нее штуцер.

Как отмечено выше, напряженное состояние паропроводов и смежного оборудования во многом определяется комбинированным характером действия различных статических и динамических нагрузок. Непосредственно же износ эксплуатируемых при рассмотренных нагрузках паропроводов в большинстве своем определяется температурой их эксплуатации. Так, для трубопроводов, работающих при температуре ниже 450° С, износ связан, прежде всего, с процессами коррозии, эрозии и тепловой усталости. При температуре свыше 450° С важную роль играет фактор ползучести и структурных изменений в металле [3].

Явление ползучести заключается в том, что металл, нагруженный при постоянной высокой температуре, медленно и непрерывно пластически деформируется под воздействием постоянных напряжений. В результате развития ползучести увеличивается диаметр и уменьшается толщина стенок труб. Детали паропроводов, проработавшие определенное время в условиях ползучести, разрушаются при напряжениях, во много раз меньших, чем при кратковременной нагрузке при той же температуре.

При эксплуатации паропроводов высоких, сверхвысоких и сверхкритических параметров пара помимо ползучести необходимо учитывать также неизбежные структурные изменения материала, а именно изменения в ферритной и перлитной составляющей, приводящие к сфероидизации и графитизации сталей.

Выводы

Экспертиза промышленной безопасности объектов котлонадзора требует от привлекаемой экспертной организации применения самых современных подходов к вопросам расчетной и экспериментальной оценки технического состояния оборудования с учетом комбинированного действия различных силовых факторов, а также фактического состояния металла его элементов.

Литература

1. ФЗ № 116 от 21.07.1997 «О промышленной безопасности ОПО» (ред. от 02.07.2013).

2. ФНП «Правила проведения ЭПБ»//Утв. приказом Ростехнадзора от 14.11.2013 № 538.

3. Антикайн П.А. Металлы и расчет на прочность котлов и трубопроводов. – М.: Энергоатомиздат. – 1990. – 368 с.

4. РД 10-249-98 Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды (с изм. № 1)//Утв. Госгортехнадзором России 25.08.1998.

5. Зайцев А.Н. Температурное состояние паропроводов блочных ТЭС и разработка мероприятий по повышению их надежности: Дис. ... канд. техн. наук. – М., 1984.

6. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность. В 2 т. Т. 2. Обоснование ресурса и безопасности/Н.А. Махутов. – Новосибирск: Наука. – 2005. – 610 с.

7. Расследование инцидентов и аварий на ОПО/А.П. Корчагин и др.; под ред. А.М. Кузнецова. – Иркутск, 2011. – 272 с.