

тых сернистыми и другими соединениями. Для подтверждения эффективности повышения эксплуатационных свойств разработанных покрытий на сетчатых материалах требуется проведение натуральных испытаний.

Литература

1. **Химико-термическая** обработка металлов и сплавов: справочник / Г.В. Борисенок [и др.]; под ред. Л.С. Ляховича. – М.: Металлургия, 1981. – 421 с.
2. **Минкевич, А.Н.** Химико-термическая обработка металлов и сплавов / А.Н. Минкевич. – М.: Машиностроение, 1965. – 491 с.
3. **Рябов, В.Р.** Алитирование стали / В.Р. Рябов. – М.: Metallurgia, 1973. – 240 с.
4. **Проскуркин, Е.В.** Диффузионные цинковые покрытия / Е.В. Проскуркин, Н.С. Горбунов. – М.: Metallurgia, 1972. – 247 с.

УДК 620.18

В.Г. ДАШКЕВИЧ, канд. техн. наук,
О.Л. СИНЬКЕВИЧ (БНТУ)

К ПРОБЛЕМЕ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СТАЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Обеспечение надежности и безопасности промышленного оборудования, работающего при высоком давлении пара или газов, является важной народнохозяйственной задачей. Это связано с тем, что повреждение даже отдельных элементов оборудования может вызвать большие разрушения и привести к несчастным случаям. Для обеспечения надежности эксплуатации такого оборудования, как паровые и водогрейные котлы, трубопроводы пара и горячей воды и сосуды, работающие под давлением, требуется строгое соблюдение установленных технических правил [1].

Основными документами, регламентирующими устройство и безопасную эксплуатацию паровых и водогрейных котлов, сосудов, работающих под давлением, и трубопроводов пара и горячей воды,

являются: «Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов», «Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды», «Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением», которые устанавливают требования по устройству, изготовлению, монтажу, эксплуатации и ремонту объектов, находящихся под давлением пара или газа более 0,07 МПа, или воды с температурой 398 К (115 °С), или другой жидкости с температурой, превышающей температуру кипения, при избыточном давлении 0,07 МПа.

Паровые котлы, сосуды, работающие под давлением, и трубопроводы пара и горячей воды эксплуатируются в весьма сложных условиях, и их надежность является следствием трех основных факторов: правильности выбора конструкции, качества материалов и изготовления и соблюдения технологических режимов эксплуатации.

Безусловно, элементы котлов, пароперегревателей и других устройств, работающих под давлением, в отношении конструкции и расчета на прочность должны отвечать вышеуказанным техническим нормативно-правовым актам. В частности, конструкция котла должна обеспечивать возможность равномерного прогрева его элементов при запуске и нормальном режиме работы, возможность свободного теплового расширения отдельных элементов котла и прочее. Нарушение хотя бы одного из факторов неизбежно ведет к снижению надежности и нарушению безопасности.

Что касается качества материалов, то рассматриваемые условия эксплуатации определяют их высокий уровень. Сталь котлов, сосудов и трубопроводов должна не только обеспечивать высокую эксплуатационную надежность, но и обладать высокими технологическими свойствами. При изготовлении, монтаже и ремонте металл элементов котлов, трубопроводов и сосудов подвергается различным технологическим операциям формообразования и соединения. Поэтому сталь должна иметь хорошую свариваемость, обеспечивать пластическую деформацию при ковке, штамповке, гибке, вальцовке и т. п.

Для изготовления и ремонта паровых и водогрейных котлов, трубопроводов пара и горячей воды и сосудов, работающих под давлением, следует применять только специальные стали, огово-

ренные в правилах эксплуатации [2]. В правилах приведены предельные допускаемые температуры и давления, при которых возможно применение перечисленных материалов. Правилами оговариваются также виды контрольных испытаний материалов, применяемых для изготовления и ремонта объектов котлонадзора.

Отличительной особенностью условий работы металла паровых и водогрейных котлов, трубопроводов пара и горячей воды и сосудов, работающих под давлением, является весьма длительное воздействие напряжений, вызываемых внутренним давлением. В ряде случаев сталь работает при высоких температурах, когда неизбежно развиваются процессы ползучести и коррозии. В металле могут возникнуть термические напряжения, вызванные как действием постоянной высокой температуры (например, температурой пара до 570 °С и топочных газов), так и колебаниями температуры до 100 °С, происходящими при эксплуатации.

Следствием воздействия агрессивной среды на элементы энергетического оборудования, высокой температуры, механических напряжений работы энергетического оборудования является проявление коррозионных процессов, ползучести, изменения структуры и механических свойств материала.

Возможность значительных колебаний температуры металла элементов котлов приводит к существенному сокращению ресурса металла. Высокий уровень напряжений, создаваемых внутренним давлением и весовыми нагрузками, обуславливает требования по обеспечению прочностных и жаропрочных свойств. Наличие конструктивных концентраторов напряжений – резких переходов сечения, отверстий для штуцеров, а также целого ряда трудно учитываемых факторов обуславливает требования по обеспечению высокой пластичности, вязкости и в особенности длительной пластичности [3].

В связи с введением нестационарных режимов эксплуатации, обусловленных неравномерностью графиков нагрузки, в металле возникают дополнительные термические напряжения, изменяющиеся во времени. Наличие таких дополнительных напряжений может вызвать преждевременное исчерпание сопротивления металла термической усталости.

На примере трубы ширмового пароперегревателя Новополоцкой ТЭЦ, изготовленной из стали 12Х1МФ (наработка более 150 000 ч),

охарактеризуем особенности деградации структуры и разрушения при превышении уровня тепловых и приведенных напряжений. Сталь 12Х1МФ – одна из самых широко используемых для котельных установок, данный сплав относится к очень надежным материалам. Однако в процессе эксплуатации этих сталей протекают процессы коагуляции карбидов M_3C , образование карбидов типа $M_{23}C_6$ и M_2C и твердый раствор обедняется молибденом, что приводит к снижению механических свойств.

Были выполнены исследования микроструктуры металла на неповрежденном и поврежденном участке, которая состоит из зерен феррита, перлита и карбидов (рисунок 1). В зоне повреждения со стороны разрыва структура состоит из феррита и карбидов, перлитная составляющая полностью сфероидизирована. По границам зерен феррита наблюдаются многочисленные поры ползучести, равномерно распределенные по толщине растянутой стенки ггиба (рисунок 2). По шкале микроповреждаемости (приложение Ж по СО 34-70-690 [4]) повреждаемость оценивается баллом 3 (множество пор без определенной ориентации). Подобная структура со стороны растянутой части ггиба отражает работу металла при температуре, превышающей предельно допустимую для стали 12Х1МФ – 585 °С.



Рисунок 1 – Микроструктура поврежденной зоны, $\times 250$

Деформация стенки со стороны растянутой части ггиба в результате локального перегрева привела к образованию поверхностных продольных трещин. На рисунке 3 изображена одна из таких трещин. Полость трещины заполнена продуктами окисления металла.

Следы окисления наблюдаются и на поверхности излома. От наружной кромки оксиды проникают вглубь на значительную глубину.

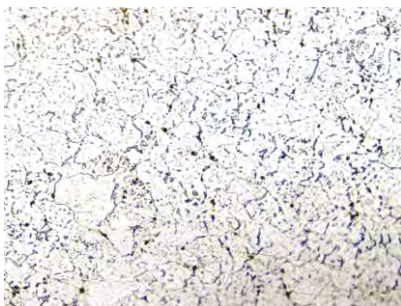


Рисунок 2 – Распределение пор по сечению шлифа, $\times 250$

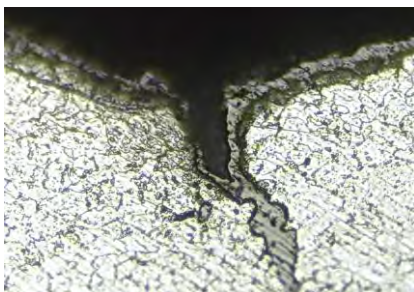


Рисунок 3 – Развитие поверхностной трещины, $\times 500$

Таким образом, повреждение рассматриваемогогиба трубы ширмового пароперегревателя котла явилось результатом развития процесса коррозионно-тепловой усталости и обусловлено как длительным сроком эксплуатации, так и повышенным уровнем тепловых и приведенных напряжений. Необходимо отметить, что в рассматриваемом случае разрушению предшествовала, предположительно, локальная деформация со стороны растянутой частигиба, вызванная совместным действием внутреннего избыточного давления и перегрева металла до температур, превышающих предельно допустимую температуру для стали 12Х1МФ – 585 °С. Результатом деформации предположительно стало нарушение формы сечения

гиба и образование поверхностных трещин ползучести, которые впоследствии приобрели роль концентраторов напряжений при развитии магистральной трещины. Это достаточно типичный случай структурного изменения металла и повреждений.

Большинство повреждений пароперегревателей, не связанных с заводским технологическим браком и дефектами монтажа и ремонта, вызваны перегревами труб из-за тепловых разверток в пакетах, в этом случае фактическая температура металла намного превышает ее расчетное значение.

Литература

1. **Баранов, П.А.** Предупреждение аварий паровых котлов / П.А. Баранов. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 272 с.

2. **Либерман, Л.Я.** Справочник по свойствам сталей, применяемых в котлотурбостроении / Л.Я. Либерман, М.И. Пейсихис. – М.–Л.: Машгиз, 1955. – 408 с.

3. **Кругасова, Е.И.** Надежность работы металла пароперегревателей в процессе длительной эксплуатации при высокой температуре: Учеб. пособие / Е.И. Кругасова – М.: ВИПКЭнерго, 1988. – 80 с.

4. **Металл паросилового** оборудования электростанций. Методы металлографического анализа в условиях эксплуатации: ОСТ 34-70-690-96. – Введ. 01.07.1997. – Министерство энергетики и электрификации СССР, 1996. – 44 с.

УДК 669

**В.М. КОНСТАНТИНОВ, д-р техн. наук,
Д.В. ГЕГЕНЯ (БНТУ),
А.Н. ДРОБОВ (ФТИ НАНБ)**

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ В ВИБРОКИПАЮЩЕМ СЛОЕ*

Одними из наиболее энергоемких операций традиционного технологического процесса на машиностроительных предприятиях являются операции термической и химико-термической обработки.