

## **ПОДБОР РЕЖИМОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Рыжиков Дмитрий Александрович, магистрант гр. ТСм-171, I курс  
Научный руководитель: Абабков Н. В., к.т.н., доц.  
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

С каждым годом процент теплоэнергетического оборудования, отработавшего свой расчетный срок (парковый ресурс) только увеличивается. Не секрет, что металл длительно работающего оборудования имеет микродефекты, которые появляются по механизмам ползучести и коррозионно-термической усталости вследствие сложных условий эксплуатации.

В связи с этим, с одной стороны, необходимо обеспечивать точную оценку текущего состояния металла, в том числе наличие микродефектов, а также остаточного ресурса оборудования. Существующий в настоящее время подход к проблеме оценки, в том числе проведение экспертизы промышленной безопасности, не во всех случаях позволяет с достаточной степенью точности говорить о фактическом состоянии металла. Это объясняется и устаревшей нормативно-технической базой (расчетные алгоритмы оценки состояния (работоспособности) и ресурса) и недостаточно чувствительными физическими методами контроля, не позволяющими выявлять микродефекты (микропоры или микроповрежденность) [1–3].

С другой стороны, что же делать со всем оборудованием, которое эксплуатируется в данный момент? Ни одна электростанция не сможет позволить себе полную замену устаревшего оборудования на новое. Поэтому остро встает вопрос восстановления работоспособности металла длительно работающего оборудования, который можно решить двумя способами:

1. Проведение восстановительной термической (термоциклической) обработки (когда имеются изменения микроструктуры, в том числе микродефекты (микропоры), но не микротрещины);
2. Проведение ремонтно-восстановительных работ с помощью сварки и наплавки, в том числе сваркой модулированным током + ВТО (когда имеются изменения структуры, в том числе микродефекты, в том числе и микротрещины).

Вопросам проведения ВТО и ВТЦО, а также изучения данных процессов и влияния их на структуру и свойства металла уделялось большое внимание следующими учеными: Антикайн П.А., Злепко В.Ф., Куманин В.И., Федюкин В.К., Смагоринский М.Е., Швецова Т.А., Гладштейн В.И., Минц И.И., Попов А.Б., Атрощенко В.В., Ганиев Ф.Б., Гладков В.И., Шклярков М.И., Резинских В.Ф., Файбисович В.В., Гурьев А.М., Ковалева Л.А., Чеботарев О.М., Осмаков В.Н. и др.

В работах [3–5] авторами сделан акцент на том, перспективным решением проблемы продления срока службы теплоэнергетического оборудования является восстановительная термическая обработка.

В монографии [6] помимо описания физико-технических основ ТЦО приводится информация о режимах и результатах проведения ТЦО для различных сталей, в том числе для теплоустойчивых сталей типа 12Х1МФ.

В связи с большой выработкой эксплуатируемого оборудования, большой научный и практический интерес представляет решение проблемы продления ресурса оборудования потенциально опасных объектов за счет восстановления структуры и свойств металла [6]. При этом важным является установление так называемого «порогового» состояния структуры металла при котором целесообразно проведение мероприятий по восстановлению структуры и свойств, а после преодоления которого необходимо проводить замену или ремонт.

Таким образом, цель работы заключается в продлении срока эксплуатации теплоэнергетического оборудования за счет восстановления структуры и свойств сварных соединений и основного металла при помощи термической обработки.

В работе будут исследованы образцы металла сварных соединений и образцы основного металла теплоэнергетического оборудования (рис. 1) разрушающими и неразрушающими (спектрально-акустический метод) методами контроля после различных режимов восстановительной термической обработки.



Рис. 1. Общий вид одной из рассматриваемых деталей (гиб №16 пароперепускной трубы от выходных коллекторов конвективного пароперегревателя IV ступени в паросборную камеру котла №5; Ø133,0×17,0)

Для проведения термической обработки металлов в воздушной среде, в т.ч. восстановительной будет использоваться камерная электропечь КЭП70/1250 П (рис. 2). Максимальная температура камерной печи КЭП70/1250 П составляет 1250 °С, что дает возможность проводить любой вид термической обработки для сталей и цветных сплавов. При этом имеется возможность программирования режимов термической обработки. Объем камерной печи составляет более 70 литров, что дает возможность проводить термическую обработку деталей длиной до 500 мм.

При продолжительной эксплуатации паропроводов из стали 12Х1МФ, работающих при высокой температуре, происходят глубокие структурные изменения, что приводит к снижению прочностных характеристик, в частности длительной прочности. Одновременно в металле по границам зерен зарождаются поры, которые по мере протекания процесса ползучести превращаются сначала

в микро, а затем и в макротрещины. Закономерности образования пор в условиях ползучести достаточно полно освещены в работах [3, 4]. Порообразованию в этом процессе, приводящему к разупрочнению, сопутствует еще множество других факторов, упрочняющих металл. В некоторых случаях процессы упрочнения в длительно работавшем металле труб из хромомолибденованадиевых сталей вследствие дисперсионного твердения, торможения движения дислокаций, полигонизации превалируют над процессами разупрочнения из-за обеднения твердого раствора легирующими элементами, коагуляции карбидов, рекристаллизации, порообразования и др. В результате этих сложных процессов, протекающих при старении под длительным воздействием высоких температур и напряжений, уровень длительной прочности снижается.



Рис. 2. Внешний вид камерная электропечь КЭП70/1250 П

Это обстоятельство может быть использовано при проведении ВТО. Однако при прочих равных условиях наиболее существенным фактором, определяющим возможность и режим выполнения последней, является степень износа металла, которая оценивается количеством пор и микротрещин.

На рис. 3 показан характер накопления повреждаемости в процессе ползучести длительно работавшего металла паропроводов. Наиболее трудным является определение момента, когда начинается интенсивный необратимый процесс развития микроповрежденности, приводящий к разрушению металла.

В работе [3] указывается, что при проведении ВТО весьма важна уточнённая оценка фактического состояния металла, подвергаемого ВТО, поскольку регенерация микроструктуры возможна на любой стадии ползучести, а залечивание микроповрежденности зависит от степени её развития. Так, для металла с поврежденностью 2–3-го балла достаточно проведение однократной

нормализации, а с поврежденностью 4–5-го балла требуется более сложный режим термообработки, т. е. для каждого конкретного случая необходима корректировка режима ВТО [13].

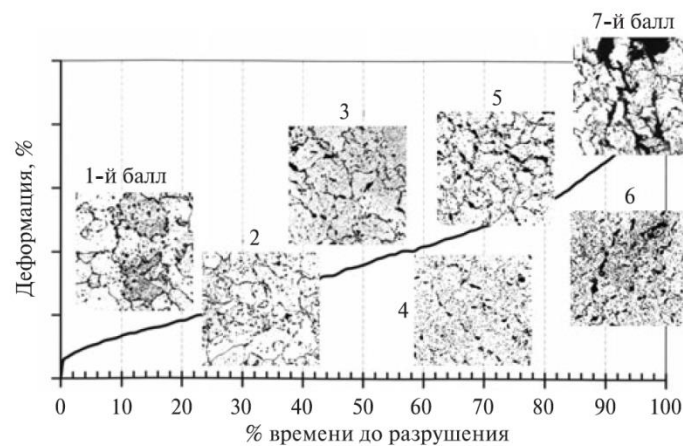


Рис. 3. Характер накопления повреждаемости по мере истощения ресурса эксплуатации

В исследовании [12] показана возможность заравнивания более крупных пор по сравнению с обычной ВТО циклической восстановительной термической обработкой, однако в производственных условиях этот метод из-за высокой трудоёмкости практически не пригоден.

Для практики весьма важное значение приобретает эксперимент по исследованию возможности восстановления структуры и свойств металла с поврежденностью 4–5-го балла. Данных по ВТО металла с такой поврежденностью в настоящее время недостаточно [14]. Для этих гибов был выбран режим двукратной нормализации с последующим отпуском:

- первая нормализация при 1040–1070 °С, выдержка 30 мин,
- вторая нормализация при 980–1000 °С, выдержка 40 мин,
- отпуск при 710–740 °С, выдержка 60 мин.

Во всех случаях скорость охлаждения при нормализации задавалась в пределах 5–9 °С/мин [14].

Таким образом, на основе данных литературных источников подобраны режимы для проведения восстановительной термической обработки сварных соединений и основного металла теплоэнергетического оборудования, изготовленного из стали 12Х1МФ.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для молодых кандидатов наук (МК-1341.2017.8).

### Список литературы

1. Смирнов А. Н., Муравьев В. В., Абабков Н. В. Разрушение и диагностика металлов. – Москва-Кемерово: Инновационное машиностроение. 2016. – 479 с.

2. ОСТ 34-70-960-96. Металл паросилового оборудования электростанций. Методы металлографического анализа в условиях эксплуатации
3. Злепко В.Ф., Линкевич К.Р. и Швецова Т.А. Влияние восстановительной термической обработки на свойства стали 12Х1МФ / Теплоэнергетика. – 2001. – № 6. – С. 68–70.
4. Попов А.Б. Сохранение работоспособности паропроводов с помощью проведения частичной восстановительной термообработки / Теплоэнергетика. 2002. – № 5. – С. 60–62.
5. Резинских В.Ф., Антикайн П.А., Зислин Г.С., Швецова Т.А., Крейцер К.К. Восстановительная термическая обработка тепломеханического оборудования ТЭС – важный резерв энергообеспечения / Теплоэнергетика. – 2006. – № 7. – С. 50–54.
6. Федюкин В.К., Смагоринский М.Е. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин. – Л.: Машиностроение, 1989. – 255 с.
7. Смирнов А. Н., Фольмер С. В., Абабков Н. В. Локальные поля напряжений в сварных соединениях, спектрально-акустический метод их выявления и синергетический подход к материаловедению // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2009, №3. – С. 28–38.
8. Смирнов, А. Н., Блюменштейн В. Ю., Кречетов А. А., Хапонен Н. А. Использование УЗ-сигналов для идентификации НДС // Безопасность труда в промышленности. – 2002. – С. 32–36.
9. Смирнов А. Н., Абабков Н. В., Козлов Э. В. [и др.] Градиентные структуры при обработке металлов резанием. – Кемерово: ООО «Сибирская издательская группа», 2013. – 179 с.
10. Смирнов А. Н., Абабков Н. В., Козлов Э. В., Конева Н. А., Быкова Н. В. Микроструктура, поля внутренних напряжений и акустические характеристики металла разрушенного ротора паровой турбины // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2014. – № 10. – С. 67–71.
11. Абабков Н. В., Бенедиктов А. В., Смирнов А. Н., Дегтярева О. Н., Глинка А. С. Современное методическое обеспечение для оценки состояния металла потенциально опасного оборудования. Часть 2. Спектрально-акустический метод контроля // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2010. – № 5. – С. 101–106.
12. Куманин, В. И. Устранение поврежденности металлических материалов с помощью восстановительной обработки / В.И. Куманин, Л.А. Ковалёва, М.Л. Соколова // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1995. – № 4. – С. 7–11.
13. Швецова, Т.А. Опыт применения восстановительной термической обработки паропроводов / Т.А. Швецова, К.К. Кройцер // Науч.-техн. конф. «Металл оборудования ТЭС. Проблемы и перспективы» (30 окт. – 2 нояб. 2006 г.): сб. докл. – М.: ОАО ВТИ, 2006. – С. 116–120.
14. Лоскутов, С. А. Оптимизация структуры и свойств длительно работавшего металла паропроводов из стали 12Х1МФ восстановительной термической обработкой / С.А. Лоскутов, Ю.Д. Корягин, Ю.А. Букин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2014. Т. 14, № 4. – С. 45–51.