

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ОСНОВНОГО МЕ- ТАЛЛА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Завсеголов Антон Андреевич, аспирант, 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

### Введение

В процессе эксплуатации элементов технических устройств опасных производственных объектов (ТУОПО) энергетической промышленности возникает целый ряд проблем, которые могут привести к техногенным катастрофам и человеческим жертвам. В первую очередь, это связано с тем, что большая часть оборудования (85–90%) выработала свой ресурс и нуждается в полной или частичной замене.

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].

На 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 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 разработке технологии восстановительной термообработки сварных соединений и основного металла теплоэнергетического оборудования.

### **Материал и методики исследований**

В работе будут исследованы образцы металла сварных соединений и образцы основного металла теплоэнергетического оборудования (рис. 1) разрушающимися и неразрушающимися (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°C, 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-заобеднения 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

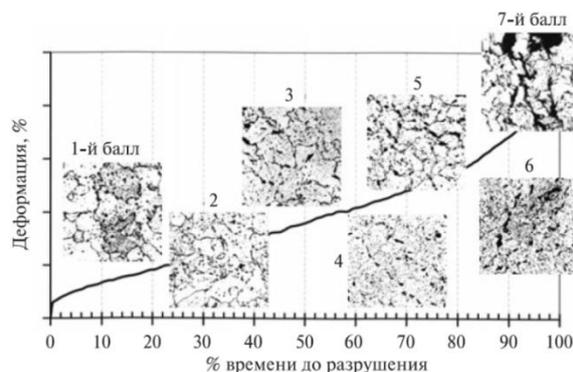


Рис. 3. Характер накопления повреждаемости по мере истощения ресурса эксплуатации

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 уточненная 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].

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.

### План эксперимента

Для практики весьма важное значение приобретает эксперимент по исследованию возможности восстановления структуры и свойств металла с повреждённостью 4–5-го балла. Данных по ВТО металла с такой повреждённостью 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 планируется задавать в пределах 5–9 °С/мин [14].

Одним из направлений, представляющих интерес для применения на производстве – является разработка и внедрение методик экспресс-контроля микроструктуры металла, эксплуатируемого теплоэнергетического оборудования. В условиях сжатых сроков проведения капитальных ремонтов на производстве, обусловленных в первую очередь экономическими показателями и трудозатратами, проведение металлографического контроля для всех элементов оборудования идущих в ремонт – физически невозможно. Авторами рассматриваются различные варианты методик неразрушающего контроля, которые могли бы заменить металлографический контроль, для выявления элементов оборудования, которым требуется ВТО и контроля микроструктуры после проведения ВТО.

На данный момент, проведен ряд исследований микроструктуры образцов нового металла и металла бывшего в эксплуатации. Исследование спектрально-акустическим методом, при помощи измерительно-вычислительного комплекса «АСТРОН» – были проведены прецизионные измерения времени распространения (задержек) и отношения размахов ультразвуковых импульсов (коэффициент затухания), распространяющихся в материале исследуемого объекта [15]. Также планируется провести механические испытания на одноосное растяжение с постоянной скоростью на испытательной машине Walter+Bai AG LFM-125 при одновременной регистрации картин локализации деформации методом цифровой корреляции изображений (DIC) [16].

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, соглашение №14-19-00724-П.*

### 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. Смирнов А. Н., Абабков Н. В. Критерии оценки состояния и ресурса длительно работающих барабанов котлов высокого давления // Сварка и диагностика, 2013. – № 4. – С. 55–59.

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. Крейцер // 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.

15. Смирнов, А. Н., Абабков Н. В., Завсеголов А. А. Исследование металла эксплуатируемых и поврежденных гибов паропроводящих труб акустическими и магнитными методами // Инновации в машиностроении: материалы VII МНПК / под ред. В.Ю. Блюменштейна. – Кемерово : КузГТУ, 2015. – С. 229–232.

16. Смирнов А. Н., Абабков Н. В., Данилов В.И. Особенности деформации Чернова – Людерса в металле длительно работающего теплоэнергетического оборудования // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2018. – Т. 23. – № 122р. – С. 262–266.