

УДК 539

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА ОБРАЗЦОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОСЛЕ ОДНОГО ЦИКЛА ТЕРМООБРАБОТКИ

Щепетков А.В., аспирант гр. МТА-221, III курс

Научный руководитель: Абабков Н.В., к.т.н., доцент, зав. кафедрой технологии машиностроения

Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово**Введение**

Большие запасы прочности, заложенные в конструкции при изготовлении в ряде случаев, дают возможность продления безопасной эксплуатации элементов теплоэнергетического оборудования больше расчетного срока службы при условиях выполнения объема контроля, установленного в «положении о порядке установления сроков дальнейшей эксплуатации котлов, турбин и паропроводов, проработавших сверх 100 тыс. часов». Если результат контроля элементов теплоэнергетического оборудования дают отрицательный результат, то такие детали или узлы должны быть заменены, либо подвергнуты восстановительной термической обработке (ВТО). [1] В связи с трудностями в поставке некоторых ресурсов в страну, замена таких узлов проблематична. Задача восстановительной термической обработки – регенерация структуры и свойств металла, который из – за длительной эксплуатации под воздействием высоких температур претерпел глубокие изменения структуры, в следствие чего ухудшились его механические характеристики и накопились остаточные деформации. [9]

Цель работы

Таким образом, цель работы заключается в увеличении и продлении срока эксплуатации теплоэнергетического оборудования путем применения современных методов определения состояния элементов энергооборудования и восстановительной термической обработки участков паропроводов после длительной эксплуатации, повлекшее за собой значительные структурные изменения металла.

Исходя из этого, были определены несколько задач, а именно:

1. Выполнить анализ паркового ресурса теплоэнергетического оборудования (сколько сейчас оборудования, длительно работающего и превышающее расчетное время эксплуатации), анализ существующих способов и методов ВТО.
2. Разработать план и методики эксперимента исследования, подготовить образцы для исследования.

3. Исследовать и сравнить структурно-фазовое состояние образцов металла до и после ВТО, а также претерпевшие разрушение образцы в следствии длительной эксплуатации.

4. Разработать технологии ВТО для выбранных структур, к которым можно применить ВТО. Разработать методику применения неразрушающих испытаний (акустических и магнитных методов) для контроля структуры. Внедрить технологии на производствах теплоэнергетического оборудования. [10]

Термообработка

Для термообработки были подготовлены группы образцов из фрагментов паропроводов, проработавшие от 200т.ч до 280т.ч.

Таблица 1. Перечень образцов для термообработки

№ образца	Примечания	Термообработка
1.1	Сталь - 12X1МФ	Без ТО
1.2	Бал поврежденности микроструктуры	
1.3	- 4	
1.4	Наработка 280 тыс. часов	
1.5	Главный паропровод котла №15	
1.6	НКТЭЦ	
2.1	Сталь - 12X1МФ	Нормализация №1 + Высокий отпуск
2.2	Бал поврежденности микроструктуры	Нормализация №1 + Нормализация №2 + Высокий отпуск
2.3	- 3	
2.4	Наработка 260 тыс. часов	Без ТО
2.5	Паропровод	
2.6	Фрагмент трубы, толщина S = 36 мм	
4.1	Сталь - 12X1МФ	Нормализация №1 + Высокий отпуск
4.2	Бал поврежденности микроструктуры	Нормализация №1 + Нормализация №2 + Высокий отпуск
4.3	- 2	
4.4	Наработка 200 тыс. часов	Без ТО
4.5	Паропровод	
4.6	Фрагмент трубы, толщина S = 38 мм	
5.1	Сталь - 15X1М1Ф Бал поврежденности микроструктуры - 3 Наработка 250 тыс. часов Паропровод Фрагмент трубы, толщина S = 48 мм	Нормализация №1 + Высокий отпуск
5.2		Нормализация №1 + Нормализация №2 + Высокий отпуск
5.3		
5.4		Без ТО
5.5		
5.6		
5.7		
5.8		
5.9		
5.10		
5.11		
5.12		

Режимы термообработки представлены на рисунках 1 и 2.

Образцы 2.1; 2.2; 4.1; 4.2; 5.1; 5.2; 5.3 подверглись термообработки по циклограмме, соответствующей рисунку 1, образцы 2.3; 2.4; 4.3; 4.4; 5.4; 5.5; 5.6 – по циклограмме рисунку 2.

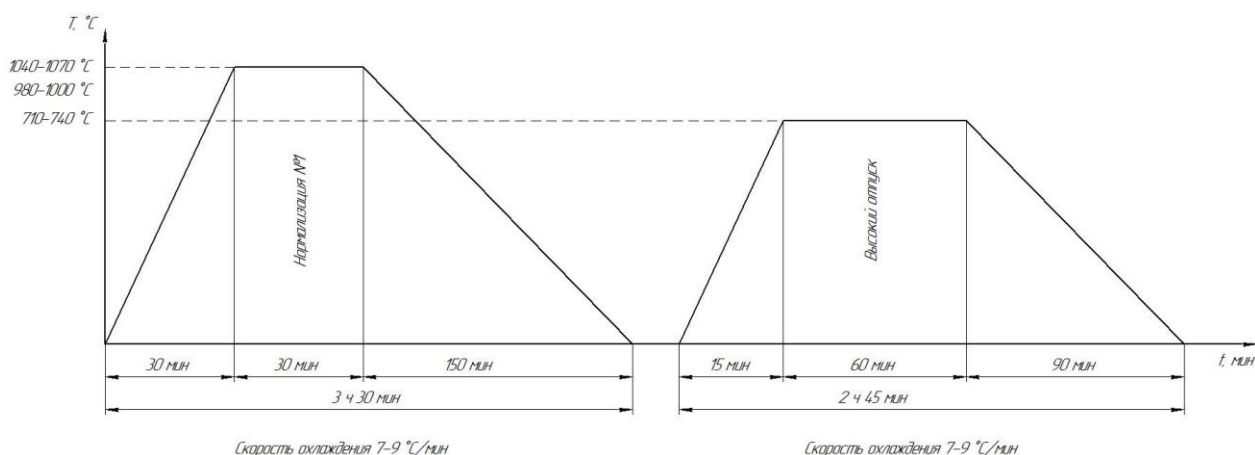


Рис. 1 – циклограмма режимов термообработки, нормализация + высокий отпуск.

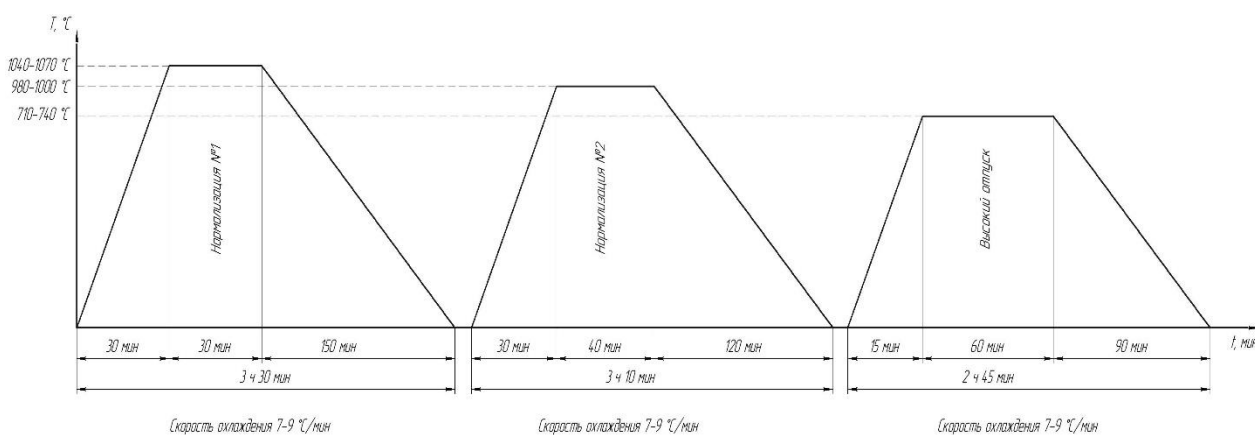


Рис. 2 – циклограмма режимов термообработки, нормализация + нормализация + высокий отпуск.

Исследования спектрально-акустических характеристик

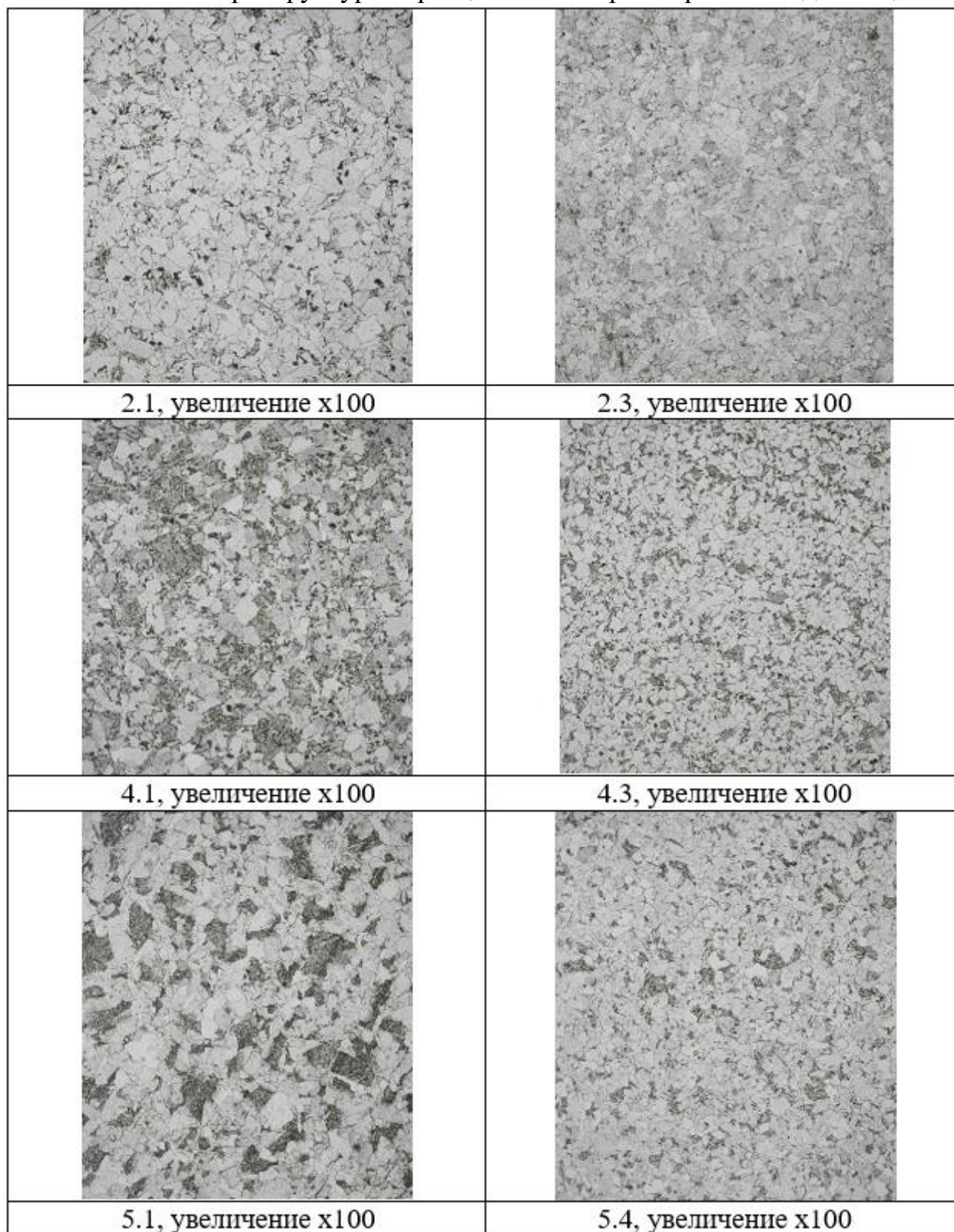
После проведения термообработки с данных образцов, с помощью измерительно-вычислительного комплекса «Астрон», были сняты показания спектрально-акустические характеристики, результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты акустических характеристик

№ п/п	R, нс	K _{изл} , 1/мкс	Амплитуда	
			Верхняя	Нижняя
2.1	4668,1	-0,047	238	-266
2.2	4648,5	-0,012	190	-227
2.3	4462,6	0,002	188	-188
2.4	4647,1	0,005	181	-188
4.1	4655,8	-0,034	213	-242
4.2	4660,1	-0,115	313	-341
4.3	4644,9	0,065	131	-146
4.4	4668,6	0,142	101	-93
5.1	4670,7	-0,066	244	-283
5.2	4673,5	-0,050	235	-244
5.3	4692,3	0,114	109	-114
5.4	4684,9	-0,170	412	-420
5.5	4653,9	-0,088	267	-296
5.6	4668,6	-0,105	286	-320

Микроструктура образцов после термообработки
На шлифах образцов №: 2.1; 2.3; 4.1; 4.3, 5.1; 5.4 проведено исследование
по определению микроструктуры.

Рис. 3 – Микроструктура образцов после термообработки одного цикла.



Исходные спектрально-акустические характеристики и металлографические исследования отображены в работах [10] и [11]

Заключение

По итогу проведенных исследований образцов из стали 12Х1МФ и 15Х1М1Ф после длительной эксплуатации, подвергшихся термической обработки не было выявлено значительных изменений в структуре, поэтому для определения подходящих режимов, требуется еще дополнительные циклы термообработки.

Выводы

Значимость работы заключается в разработке нового способа продления эксплуатации теплоэнергетического оборудования, повышение экономичности, уменьшение трудозатрат при ремонте и эксплуатации теплоэнергетического оборудования, снизить риск жертв и возникновения аварийных ситуаций при эксплуатации теплоэнергетического оборудования в следствии работы таких элементов сверх расчетного срока службы.

Список литературы:

1. Справочник по ремонту котлов и вспомогательного котельного оборудования/ под общ. Ред. В.Н. Шастина. – М.: Энергоиздат, 1981. – 496с., ил.
2. Сборник правил и руководящих материалов по котлонадзору. Сост. Сигалов Л. Б. Изд. 4, перераб. и доп. М., «Недра». 1977. 576 с. с ил.
3. Смирнов А. Н. Исследование микроструктуры и фазового состава стали 12Х1МФ после длительной эксплуатации. – Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2004. № 2 (39). С. 67-72.
4. 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.
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. Попов А.Б. Сохранение работоспособности паропроводов с помощью проведения частичной восстановительной термообработки / Теплоэнергетика. 2002. – № 5.
7. Федюкин В.К., Смагоринский М.Е. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин. – Л.: Машиностроение, 1989. – 255 с.
8. 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.
9. Щепетков А.В., Абабков Н.В. Анализ изменения структуры стали 12Х1МФ в процессе длительной эксплуатации для разработки технологии восстановительной термической обработки. // Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции. 2022.

10. Щепетков А.В., Абабков Н.В. Исследование микроструктуры и акустических характеристик металла образцов теплоэнергетического оборудования для выбора режима восстановительной термообработки. // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте. Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции. Кемерово, 2024

11. Щепетков А.В., Абабков Н.В. Исследование акустических характеристик металла образцов теплоэнергетического оборудования для выбора режима восстановительной термообработки. // XIII инновационный конвент "Кузбасс: образование, наука, инновации", посвященный 80-й годовщине победы в великой отечественной войне 1941-1945 годов. Сборник тезисов докладов. В 2-х частях. Кемерово, 2025