

УДК 621.052.08

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ СТАЛИ 12Х1МФ и 15Х1М1Ф В ИСХОДНОМ СОСТОЯНИИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ.

Щепетков А.В., аспирант гр. МТа-221, I курс

Научный руководитель: Абабков Н.В., к.т.н., доцент, Пимонов М.В., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Россия, 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.

Цель работы

Таким образом, цель работы заключается в разработке новых режимов и технологий восстановительной термообработки в печах, а также индукционным нагревом, разработке технологии использования доступных методов неразрушающего контроля по определению состояния теплоэнергетического оборудования и сроков его эксплуатации.

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

1. Анализ существующих режимов восстановительной термической обработки оборудования тепловых энергосистем. Исследования структур металла котлов, турбин и паропроводов, проработавших сверх 100 тыс. часов. Анализ структуры стали 12Х1МФ и 15Х1М1Ф в состоянии поставки.

2. Разработка новых режимов восстановительной термической обработки теплоэнергетического оборудования, способных регенерировать

структуру и свойства 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.

3. Исследования структур металла оборудования тепловых энергосистем, подвергшихся восстановительной термической обработке.

4. Проведение в стационарных и производственных условиях исследования эксплуатационных показателей теплоэнергетического оборудования, подвергнутых восстановительной термической обработки. Внедрение технологии на производствах теплоэнергетического оборудования, обучения специалистов по термообработке.

Анализ стали 12Х1МФ и 15Х1М1Ф

Применимость

На всех электростанциях пар при температуре 530 - 575°С и давлении 14 - 25,5 МПа подается от котла к турбине по толстостенным (60 мм при диаметре 325 мм) бесшовным котельным горячекатаным трубам. Труба паропровода за 100000 ч работы может увеличиться в диаметре не более, чем на 1% (далее возможна катастрофа). Столь медленную ползучесть обеспечивают стали - 12Х1МФ или 15Х1М1Ф. Данные хромомолибденванадиевые стали (12Х1МФ, 15Х1М1Ф) полностью заменили в котельном производстве хромомолибденовые (12ХМ, 15Х5М) как более жаропрочные в связи с тем, что температура перегретого пара в современных энергоустановках превысила 510° С.

Стали 12Х1МФ и 15Х1М1Ф применяют в термически упрочненном состоянии, чем обеспечивается высокая жаропрочность.

Таблица 1. Химический состав материала, %

	C	Mn	Si	Ni	S	P	Cr	Mo	V	Cu
12Х1МФ	0.08 - 0.15	0.4 - 0.7	0.17 - 0.37	до 0.3	до 0.025	до 0.03	0.9 - 1.2	0.25 - 0.35	0.15 - 0.3	до 0.2
	C	Mn	Si	Ni	S	P	Cr	Mo	V	Cu
15Х1М1Ф	0.1 - 0.16	0.4 - 0.7	0.17 - 0.37	до 0.25	до 0.025	до 0.025	1.1 - 1.4	0.9 - 1.1	0.2 - 0.25	до 0.25

Таблица 2. Температура критических точек материала, °С.

Сталь	Ac ₁	Ac ₃ (Ac _m)	Ar ₃ (Ar _c m)	Ar ₁	Mn
12Х1МФ	760	890	825	730	430
15Х1М1Ф	770-819	905-975	855-908	775-818	-

Таблица 3. Механические свойства

12X1MФ						
ГОСТ	Состояние поставки	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	ψ , %	КСУ, Дж/см ²
		Не менее				
ГОСТ 20072-74	Пруток. Нормализация при 960-980°C, охл. на воздухе; отпуск при 700-750°C, охл. на воздухе	255	470	21	55	98
ГОСТ 5520-79	Лист 2; 3; 16; 18-й категорий термообработанный	294	440-588	21	—	78
15X1M1Ф						
	Без ТО в состоянии поставки	320	500	16-18	45-50	392-490
ТУ 14-3-460-2003	Трубная заготовка + Трубы горячедеформированные. Нормализация при 970-1000°C, охл. на воздухе; отпуск при 730-760°C, охл. в печи до 500°C, далее охл. на воздухе	345	490-690	18	50	490
ТУ 14-3-460-2003, ТУ 3-923-75	Трубы бесшовные для паровых котлов и трубопроводов. Нормализация 970-1000°C; отпуск при 730-760°C, охл. на воздухе	314	490-686	18	50	490
ТУ 1301-039-00212179-2010	Трубы бесшовные. Нормализация 970-1000°C; отпуск при 730-760°C, охл. на воздухе	315	490-655	18	50	590

Таблица 4. Чувствительность к охрупчиванию при старении

12X1MФ		
Время, ч	Температура, °С	КСУ, Дж/см ²
Исходное состояние	—	176
3000	600	235
5000	625	245
15X1M1Ф		
Исходное состояние	—	147-235
40000	550	176-191
50000	565	175
30000	600	179

Таблица 5. Физические свойства

Температура испытаний Т, °С	Модуль нормальной упру- гости Е 10 ⁻⁵ , МПа		Плотность ρ, кг/м ³
	12Х1МФ	15Х1М1Ф	
20	1.98	2.14	7800
100	1.93	2.08	7780
200	1.88	2.01	7750
300	1.83	1.94	7720
400	1.75	1.87	7680
500	1.67	1.77	7640
600	1.57	1.69	7600
700	1.51	1.6	7570

Таблица 6. Жаростойкость

Среда	Температура, °С	Длительность испытания, ч	Глубина, мм/год
Воздух	12Х1МФ		
	585	—	0,07
	625	—	0,491
	650	5000	0,509-1,2
	15Х1М1Ф		
	600	3000	0,194
	625	5000	0,264
	650	5000	0,413

Таблица 7. Технологические свойства

12Х1МФ	15Х1М1Ф
<p>Температураковки, °С: начала 1240, конца 780. Сечения до 50 мм охлаждаются в штабелях, сечения 51 — 100 мм — в ящиках, сечения 500—600 мм подвергаются низкотемпературному отжигу.</p> <p>Обрабатываемость резанием — К_v б.ст= 1,35 и К_v тв.спл = 1,50 в нормализованном и отпущенном состоянии при НВ > 138</p>	<p>Температураковки, °С: начала 1240, конца 800. Сечения до 700 мм охлаждаются отжигом низкотемпературным, одно переохлаждение; до 50 мм - в штабелях, сечения 51 — 100 мм — в ящиках.</p> <p>Обрабатываемость резанием — К_v б.ст= 0,8 и К_v тв.спл = 1,1 в нормализованном и отпущенном состоянии при НВ > 200.</p>

Таблица 8. Свариваемость

Сталь	Ограниченно свариваемая	Способы сварки	Подогрев и последующая ТО
12Х1МФ	+	РДС, АДС	+
15Х1М1Ф	+	РД, РАД, АФ и КТ	+

Структура

Стали марок 12Х1МФ и 15Х1М1Ф в исходном состоянии в зависимости от качества проведенной термообработки могут иметь различную микроструктуру. Шкала приложения к ТУ 14-3-460-2009 предусматривает девять типов микроструктур (девять баллов) для стали 12Х1МФ и десять типов микроструктур (десять баллов) для стали 15Х1М1Ф. Чем больше в структуре стали промежуточной составляющей, тем выше жаропрочность и тем меньше балл микроструктуры. Структуры, имеющие небольшое количество промежуточной фазы (преимущественно по границам зерен) и относящиеся к баллам 6 и выше, считаются нерекондуемыми и могут иметь пониженную жаропрочность (рис. 1-3).

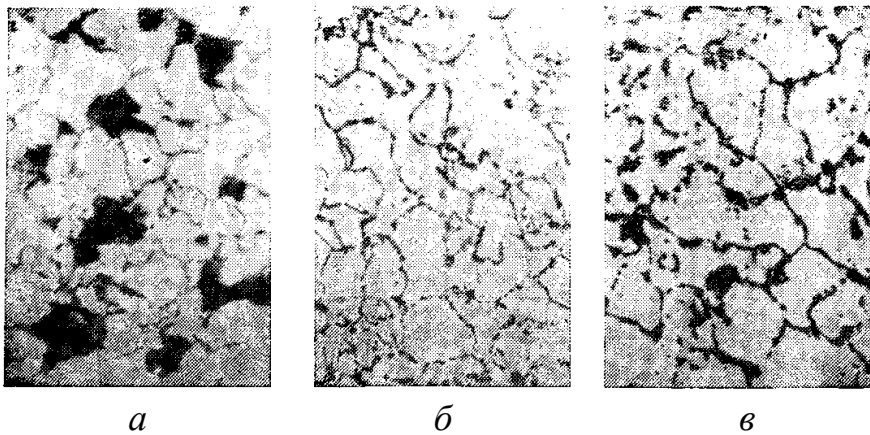


Рис.1 Микроструктура металла труб из стали марки 12Х1МФ в исходном состоянии: *а* – рекомендуемая, 5 баллов; *б* и *в* – нерекондуемая, 7 и 8 баллов (увеличение 500^x)

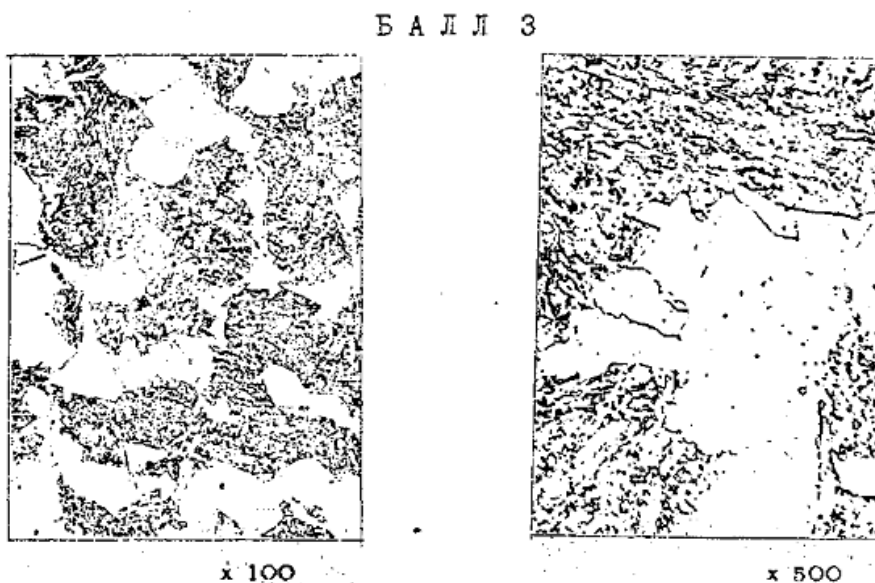


Рис. 2. Сдаточная микроструктура металла труб из стали марки 15Х1М1Ф, 3 балл - микроструктура содержит не менее 60% отпускаемого бейнита

Б А Л Л 7

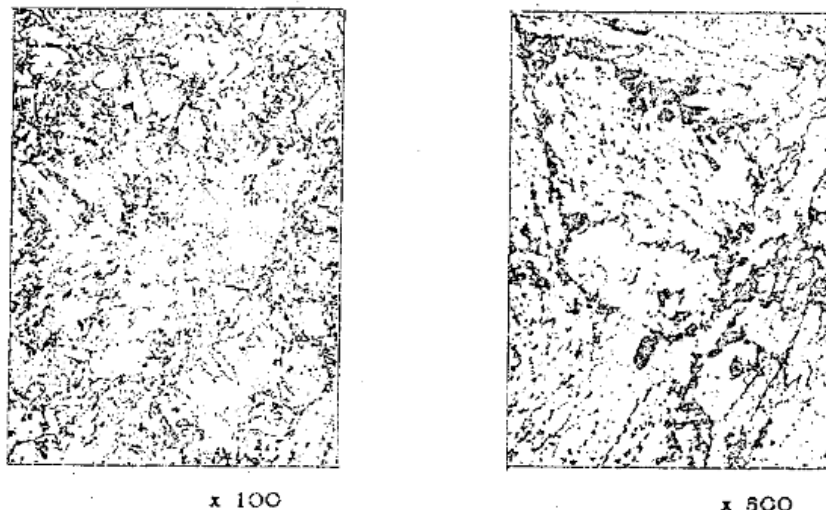


Рис. 3. Браковочная микроструктура металла труб из стали марки 15X1M1Ф, 7 балл - микроструктуры перегрева при отпуске свыше $A_{сн}$

Заключение

Трубы из стали 15X1M1Ф подвергают только нормализации с отпуском. Сталь 15X1M1Ф немного дороже стали 12X1MФ, содержит больше молибдена и отличается несколько большей жаропрочностью. На свойствах стали 15X1M1Ф меньше сказывается скорость охлаждения. Если для обеспечения высокой жаропрочности котельных труб с толщиной стенки более 45 мм из стали 12X1MФ необходима закалка, то толстостенные котельные трубы из стали 15X1M1Ф достаточно жаропрочны после охлаждения на воздухе.

Сталь 12X1MФ применяется для поверхностей нагрева, камер и паропроводов, а сталь 15X1M1Ф - только для камер и паропроводов. Хром введен для улучшения окалиностойкости, молибден и ванадий - для повышения жаропрочности. Обе стали применяют для камер и паропроводов на параметры пара до 255 ат и 570° С. В поверхностях нагрева сталь 12X1MФ используют при температурах стенки 590-600° С. Сталь 15X1M1Ф можно использовать до 585° С.

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.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ, соглашение №22-29-20192 и гранта Минобрнауки Кемеровской области — Кузбасса, соглашение №16.

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. Марочник сталей и сплавов. 4-е изд., переработ. и доп. / Ю.Г. Драгунов, А.С. Зубченко, Ю.В. Каширский и др. Под общей ред. Ю.Г. Драгунова и А.С. Зубченко – М.: 2014 1216 с.: илл.