

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра Материаловедение и технологии обработки материалов

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
В.И. Темных

(подпись)

«__» _____ 2018 г.

БАКАЛАВАРСКАЯ РАБОТА

Направление 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов
Профиль 22.03.01.07 Материаловедение и технологии материалов
в машиностроении

Влияние технологических режимов на причины и характер разрушений элементов котлов паровых турбин

Научный руководитель

(подпись, дата)

О.А. Масанский

Выпускник

(подпись, дата)

Р.В. Канайкин

Нормоконтроль

(подпись, дата)

Л. А. Свечникова

Красноярск 2018

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра «Материаловедение и технологии обработки материалов»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В. И. Темных
(подпись)
« ____ » _____ 2018 г

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы

Студенту (ке) Канайкину Роману Владимировичу

Группа МТ 14-01Б Направление (специальность) 22.03.01

«Материаловедение и технологии обработки материалов»

Тема выпускной квалификационной работы: «Влияние технологических режимов на причины и характер разрушений элементов котлов паровых турбин»

Утверждена приказом по университету № 2261/с от 14.02.2018

Руководитель ВКР: О.А. Масанский доцент, к.т.н. кафедры

«Материаловедение и технологии обработки материалов»

Исходные данные для ВКР: подбор образцов элементов котла П 67 паровой турбины для проведения анализа причин разрушения.

Перечень рассматриваемых вопросов (разделов ВКР):

- 1 Введение
2. Литературный обзор
- 3 Методическая часть
- 4 Экспериментальная часть
- 5 Заключение
- 6 список использованных источников

Перечень графического материала: презентация по теме исследования.

Руководитель ВКР

(подпись)

О. А. Масанский

Задание принял к исполнению

(подпись)

Р. В. Канайкин

« ____ » _____ 2018 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Реферат.....	3
Введение.....	4
1 Анализ влияния технологических режимов на причины и характер разрушений элементов котлов паровых турбин.....	5
1.1 Материалы котельных установок и паровых турбин.....	5
1.2 Общее описание котла П-67.....	15
1.3 Виды повреждений элементов котла.....	17
2 Методы проведения исследований.....	26
2.1 Методика проведения макроанализа.....	26
2.2 Металлографический анализ.....	27
3 Исследования поврежденных элементов парового котла.....	29
3.1 Фрактография изломов и макроисследования.....	30
3.2 Металлографические исследования.....	37
Заключение.....	46
Список использованных источников.....	47

РЕФЕРАТ

В результате работы над ВКР были исследованы, основные виды повреждений элементов котла паровой турбины П-67. Изучены методики приготовления и исследования образцов для определения вероятных причин разрушения .

Исследования проведенные в данной выпускной квалификационной работе позволили установить основные виды разрушений и причины их образования. Результаты исследования полученные в данной работе могут быть использованы на тепловых электрических станциях для предупреждения разрушений обусловленных человеческим фактором.

Объем пояснительной записки 47 – листов формата А4

					ДП-22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

ВЕДЕНИЕ

Одной из важных задач современной энергетики является повышение эффективности работы существующих энергоблоков, продление их сроков службы, а также сооружение новых блоков.

Старение и износ трубопроводов и необогреваемых элементов котлов ТЭС обусловлены фазовым и коррозионным составом среды, капле-ударным и коррозионно-эрозионным износом, накоплением шлама на участках с малыми скоростями потока пара, генерацией и поглощением электролитического водорода металлом паропровода и процессами электрохимической коррозии под напряжением.

В данной работе был проведен анализ причин разрушения элементов котла паровой турбин П-67, специально разработанного для работы на березовских бурых углях Канско-Ачинского месторождения в блоке с турбиной мощностью 800 МВт. Котел сверхкритического давления с промперегревом, прямоточный, однокорпусный, Т-образной компоновки, с уравновешенной тягой, с твердым шлакоудалением, газоплотный.

Топочная камера открытая, призматическая, квадратного сечения, полностью экранирована вертикальными панелями из плавниковых труб и оборудована тангенциальными щелевыми горелками, установленными в четыре яруса на четырех стенах, что создает единый вращающийся факел. Все стены топочной камеры и газоходов выполнены цельносварными из плавниковых труб, стены конвективных шахт выполнены с увеличенным шагом труб.

					ДП-22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

1 Анализ влияния технологических режимов на причины и характер разрушений элементов котлов паровых турбин

1.1 Материалы котельных установок и паровых турбин

Углеродистые стали. Для изготовления деталей котлов, вспомогательного оборудования и трубопроводов широко применяются низкоуглеродистые стали. Низкоуглеродистые стали содержат до 0,25 % углерода, до 0,8 % марганца и до 0,4 % кремния (остающихся после раскисления), а также вредные примеси – до 0,055 % серы и до 0,045 % фосфора. Эти стали хорошо поддаются обработке давлением, гибке и правке в горячем и холодном состоянии, хорошо свариваются.

Низкоуглеродистые стали относительно дешевы, не дефицитны и обладают удовлетворительными механическими свойствами при комнатной и повышенных температурах (до 450 °С).

В котлостроении низкоуглеродистая сталь, поставляемая по ГОСТ 1050-88, 5520-79, применяется после нормализации для элементов котлов низкого и среднего давления, а также в виде листа и проката элементов котлов и трубопроводов, работающих при относительно низких температурах и давлениях.

Стальные листы применяются для изготовления корпусов котлов низкого давления, для барабанов и их днищ, для плоских доннышек коллекторов, для многих элементов котлов, не подверженных нагрузкам внутренним давлением, а также для изготовления корпусов сосудов давления, входящих в состав котельной установки (деаэраторов, барботеров, фильтров водоподготовки и др.). Для изготовления котлов низкого давления используются листы из углеродистой стали обыкновенного качества Ст2кп, Ст3кп, ВСт3кп, ВСт3пс, Ст3сп, Ст3Гпс и др.[1].

Для изготовления элементов котлов с более высокими параметрами пара применяются листы из сталей 10, 15, 15К, 20К, а также стальные листы, поставляемые по специальным техническим условиям.

Качественные углеродистые стали используют для изготовления крепежных деталей корпусов ЦВД и ЦСД (фланцы, шпильки, болты), работающих при

									Лист
									8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

При кратковременных испытаниях на разрыв в условиях высоких температур фактор времени на прочность влияния не оказывает.

Жаропрочность отражает свойство стали сохранять прочность, пластичность и стабильность структуры при высоких температурах в условиях ползучести металла в течение расчетного срока службы в сочетании с высокой коррозионной стойкостью (при температурах эксплуатации не выше 585 °С и умеренном коррозионном воздействии среды).

Жаропрочность характеризуют пределом длительной прочности и пределом ползучести показывающие время до начала разрушения при заданных напряжениях, температуре и рабочей атмосфере. Жаропрочность зависит от химического состава и технологии изготовления сплава [1].

Жаропрочные материалы. Перлитные, мартенситные и аустенитные жаропрочные стали используют при температуре 450–700 °С. По масштабам применения они занимают ведущее место среди жаропрочных материалов. Ниже 450 °С вполне пригодны обычные углеродистые конструкционные стали, и нет необходимости заменять их жаропрочными.

Жаропрочные сплавы на основе алюминия, магния и титана легче сталей, однако они менее жаропрочны. Используют их при следующих температурах: сплавы алюминия до 300–350 °С (исключением являются сплавы САП – спеченная алюминиевая пудра, которые можно применять до 500–550 °С); сплавы магния до 300–350 °С, сплавы титана до 500–600 °С.

Тугоплавкие металлы и их сплавы, керамика на основе SiC и Si₃C₄, графит – это материалы с высокой жаропрочностью, применяемые при температурах выше 1000 °С.

Перлитные стали предназначены для длительной (100 тыс. ч и более) эксплуатации при температуре 450–580 °С. Используют главным образом в котлостроении.

Для изготовления котлов, пароперегревателей и паропроводов применяют жаропрочные стали марок 12Х1МФ. Хром введен для улучшения окалиностой-

									Лист
									10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

рения карбидов) и отпуске при 600–740 °С. Структура термически обработанной стали – смесь легированного феррита и мелких карбидов – обеспечивает необходимую жаропрочность, сопротивление коррозии и релаксационную стойкость.

Предназначены для изделий, работающих при 450–600 °С; от перлитных они отличаются повышенной стойкостью к окислению в атмосфере пара и топочных газов. По жаропрочности они превосходят перлитные.

Мартенситные стали данной группы имеют разнообразное применение в паровых турбинах: диски, лопатки, бандажы, диафрагмы, роторы, а также и крепежные детали.

Для больших температур применяют стали, легированные молибденом и ванадием (15X11МФ), а также вольфрамом и ниобием (20X11МФБН, 15X12ВМФ, 20X12МБФР) и некоторые другие.

Стали второй группы – сильхромы – характеризуются повышенной жаростойкостью в среде горячих выхлопных газов и используются для изготовления клапанов двигателей внутреннего сгорания. Оптимальные свойства сильхромы имеют после обработки на сорбит. Так, сталь 40X10С2М закаливают после нагрева до 1030 °С и отпускают при 720–780 °С. Чем больше содержания хрома и кремния в стали, тем выше ее рабочая температура. Жаропрочность сильхромов позволяет применять их при температурах не выше 600–650 °С; при более сложных условиях эксплуатации клапаны мощных двигателей изготавливают из аустенитных сталей. Сильхромы не содержат дорогих легирующих элементов и используются не только для клапанов двигателей, но и для крепежных деталей моторов. Технологические свойства сильхромов хуже, чем у перлитных сталей. Особенно затруднена их сварка, требуются подогрев перед сваркой и последующая термическая обработка [1, 3, 7].

Аустенитные стали по жаропрочности превосходят перлитные и мартенситные стали, используют их при температурах выше 600 °С. Основные легирующие элементы – хром и никель. Соотношение между ними выбирают таким, чтобы получить устойчивый аустенит, не склонный к фазовым превращениям.

						ДП-22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			13

Аустенитные стали отличаются большой пластичностью, хорошо свариваются, однако по сравнению с перлитными сталями труднее обрабатываются резанием из-за высокой пластичности и упрочнения при резании (наклёпываются).

Для изготовления пароперегревателей и паропроводов применяют стали марок 12Х18Н10Т – до 600 °С, 10Х11Н20ТЗ – до 700 °С. Недостаток сталей аустенитного класса – образование трещин в зоне термического влияния сварных швов паропроводов. Основные легирующие элементы – хром и никель. Соотношение между ними выбирают таким, чтобы получить устойчивый аустенит, не склонный к фазовым превращениям. Для лопаток, дисков и роторов паровых турбин применяют стали Х16Н13М2Б, работающие при температуре до 600 °С.

Температура направляющих и рабочих лопаток газовых турбин выше, чем паровых турбин, поэтому детали газовых турбин необходимо делать из более жаропрочных сталей. Лопатки газовых турбин и крепежные детали, работающие при 650 °С, изготавливают из стали Х15Н35В3Т. Для деталей, работающих при еще более высоких температурах, применяют сплавы на никелевой основе, ХН70ТЮР (20 % хрома).

Аустенитные жаропрочные стали подразделяют на три группы:

- однофазные стали, не упрочняемые термической обработкой;
- стали с карбидным упрочнением;
- стали с интерметаллидным упрочнением.

Однофазные стали имеют устойчивую структуру однородного аустенита с незначительным содержанием карбонитрида титана или ниобия (для предупреждения межкристаллитной коррозии). Такая структура получается после закалки от 1020–1100 °С. Стали этой группы применяют как жаропрочные в теплоэнергетике (например, 12Х18Н10Т).

Жаропрочность однофазных сталей увеличивают при помощи наклепа, пользуясь тем, что температура рекристаллизации аустенитных сталей высока (около 1000 °С). Другой путь создания жаропрочности – создание полигонизованной структуры. Аустенитные стали с карбидным упрочнением обычно со-

									Лист
									14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

Таблица 2 – Область применения некоторых жаропрочных сталей и сплавов

Марка	Группа	Содержание легирующих элементов, %	Температура, °С		Жаропрочные свойства		
			максимальная рабочая	начала интенсивного окисления	σ_{1000}	$\sigma_{1/100000}$	температура испытания, °С
					МПа		
12X1MФ	Перлитные стали	0,12 С; 1,1 Сг; 0,3 Мо; 0,2 V	570–585	600	140	84	560
25X2M1Ф		0,25 С; 2,3 Сг; 1 Мо; 0,4 V	520–550	600	160–220	70	550
15X5M	Мартенситные стали	До 0,15 С; 5,2 Сг; 0,5 Мо	600	650	100	40	540
40X10C2М		0,4 С; 10 Сг; 2,2 Si; 0,8Мо	650	850	100	40	550
15X11MФ		0,15 С; 11 Сг; 0,7 Мо; 0,3 V	550–580	750	200	90	550
11X11H2B2MФ		0,11 С; 11 Сг; 1,7 Ni; 1,8 W; 0,4 Мо; 0,25 V	600	750	400* ¹	–	550
12X18H10T	Аустенитные стали	До 0,12 С; 18 Сг; 10 Ni; 0,5 Ti	600	850	80–100	30–40	660
45X14H14B2M		0,45 С; 14 Сг; 14 Ni; 2,4 W; 0,3 Мо	650	850	130	40	650
10X11H20T3P		До 0,1 С; 11Сг; 20Ni; 2,6Ti; 0,02 В	700	850	400* ²	–	700
XH77TЮР	Никелевые сплавы	До 0,07 С; 20 Сг; 2,6 Ti; 0,8 Al; до 0,01 В	750	1050	110–200	200* ³	750
XH55BMТКЮ		0,10 С; 10 Сг; 5 Мо; 4,9 W; 14 Со; 4,5	950	1050	150* ⁴	130* ³	900

Тугоплавкие металлы имеют прочные межатомные связи и отличаются высокими температурами плавления, малым тепловым расширением, небольшой теплопроводностью, повышенной жесткостью. Однако при высоких температурах все важнейшие тугоплавкие металлы (за исключением хрома) быстро окисляются. Низкая жаростойкость – большой недостаток тугоплавких металлов [6].

1.2 Общее описание котла П-67

Общий вид котла П-67 приведен на (рис. 1). Топочная камера открытая, призматическая, квадратного сечения, полностью экранирована вертикальными панелями из плавниковых труб и оборудована тангенциальными щелевыми горелками, установленными в четыре яруса на четырех стенах, что создает единый вращающийся факел. Все стены топочной камеры и газоходов выполнены цельносварными из плавниковых труб, стены конвективных шахт выполнены с увеличенным шагом труб.

Над топкой и в горизонтальном газоходе размещены ширмовые поверхности нагрева, причем первые по ходу газов ширмы цельносварные из плавниковых труб. Конвективные поверхности расположены в опускных шахтах в зоне умеренных температур. Все конвективные поверхности подвешены на подвесных трубах. Экономайзер мембранного типа. Регулирование температуры перегрева первичного пара производится впрысками, регулирование температуры перегрева вторичного пара – байпасированием паропарового теплообменника. Для подогрева воздуха применен трубчатый воздухоподогреватель. Для снижения температуры уходящих газов и повышения к.п.д. электрофильтров использована система производства избыточного воздуха.

					ДП-22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

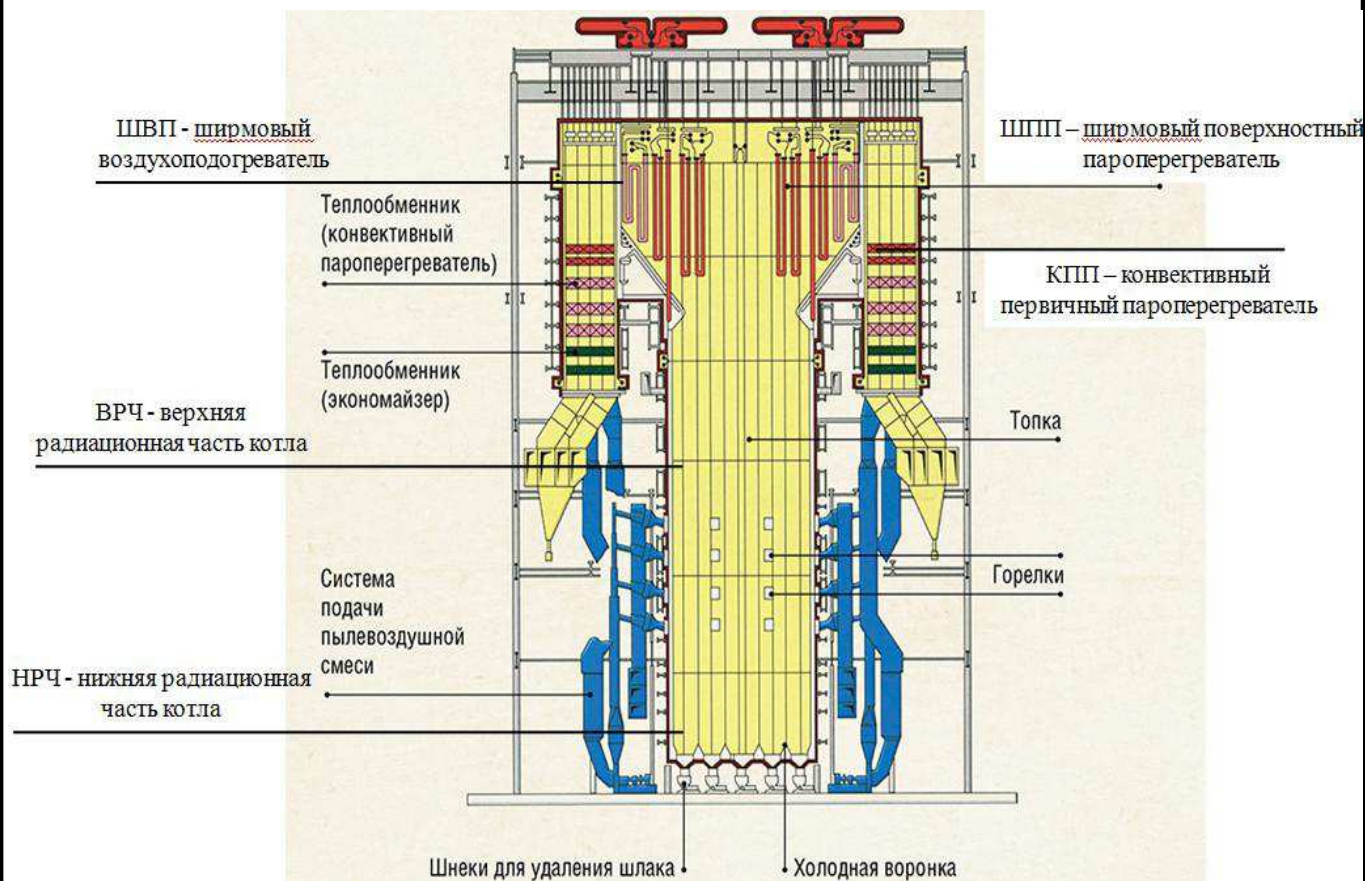


Рисунок 1 – Поперечный разрез котельного агрегата П-67

Котел выполнен подвесным к конструкциям здания. На газоплотных стенах котла выполняется тепловая изоляция. Котел поставляется укрупненными блоками. Благодаря значительной высоте топочной камеры, подаче газов рециркуляции через горелки и в верхнюю ее часть снижается температура газов в ядре горения и на выходе из топки. Для уменьшения механического недожога в низ холодной воронки через систему сопел подается горячий воздух. Имеется комбинированная система очистки поверхностей нагрева котла от внешних золовых загрязнений. Система пылеприготовления прямого вдувания с мелющими вентиляторами и газовой сушкой топлива. Отбор газов на сушку производится в районе поворотной камеры котла. Конструкция котла обеспечивает условия, необходимые для ремонта отдельных узлов котла. Основные технические решения по котлу – газоплотная подвесная конструкция, компоновка и конструкция по-

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ДП-22.03.01 ПЗ

Лист

19

верхностей нагрева, параметры пара и высокая единичная мощность – соответствуют современным тенденциям и требованиям мирового котлостроения

Основными дефектами котлов являются коррозионные и термоусталостные разрушения металлических конструкций, потеря плотности вальцовочных соединений, разрывы и трещины труб и коллекторов в результате перегревов, неисправностей форсуночных и воздухонаправляющих устройств, арматуры, контрольно-измерительных приборов и кирпичных кладок топок. Трубки водотрубных котлов чаще подвержены отказам, чем другие элементы, так как находятся в более тяжёлых условиях. К основным видам повреждений трубок следует отнести: утонение стенок, свищи, выпучины, трещины, разрывы, деформации (прогибы). Утонение трубок происходит из-за протекания процессов коррозии и эрозии. Наиболее часто наблюдаются высокотемпературные – ванадиево-натриевые и низкотемпературные – сернистые и коррозионные разрушения наружных поверхностей нагрева.

1.3 Виды повреждений элементов котла

Коррозия. Коррозией называют разрушение металлов под действием окружающей среды. При этом часто металлы покрываются продуктами коррозии (ржавеют). В результате воздействия внешней среды механические свойства металлов резко ухудшаются, иногда даже при отсутствии видимого изменения внешнего вида поверхности [1, 6].

Газовая коррозия. Газовая коррозия представляет собой химическое взаимодействие металла трубок и других металлических конструкций котла с газообразными или твёрдыми агрессивными компонентами, находящимися в дымовых газах. При высоких температурах поверхность металла под воздействием газов разрушается. В процессе газовой коррозии на поверхности металла образуется плёнка окислов железа ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), защищая металл от дальнейшего разруше-

					ДП-22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

ность представляют неравномерные величины загрязнений поверхностей нагрева, которые определяются неодинаковыми скоростями потока газов по фронтальному сечению. Причём, иногда, наблюдаются полные заносы межтрубных пространств на отдельных участках. Вследствие неравномерности отложений, создаются потоки газов с большой скоростью (от 10 до 16м/с), что является источником интенсивного конвективного теплообмена, воспринимаемого ограничивающими поток трубками. В местах максимального тепловосприятия повышение температуры трубок может достичь 10 %. Длительные воздействия повышенных температур увеличивают тепловые напряжения, ухудшают структуру материала, снижают их прочностные характеристики, а в сочетании с другими видами разрушающих воздействий (низко и высокотемпературные коррозионные разрушения) являются одной из основных причин образования свищей, трещин и разрывов трубок. Поверхности нагрева подвержены коррозионному разрушению не только с внешней, но и с внутренней стороны. При высокой температуре котловой воды повышается её коррозионная активность, природа коррозии – электрохимическая. Вызывается растворённым в воде воздухом, который в виде пузырьков осаждается на внутренних поверхностях коллекторов и трубок. Так как концентрация кислорода внутри пузырька выше, чем в воде, то поверхность металла внутри пузырька около стенки оказывается катодом, а около стенки вне пузырька - анодом. В результате металл разрушается по периметру пузырька с внешней стороны. Скорость коррозии возрастает при увеличении кислорода, растворённого в воде, и зависит от внутренних факторов - увеличения концентрации солей в котловой воде и наличия в металле отдельных включений, являющимися сильными катодами. Опасно, когда сварной шов является анодом. Утонение трубок может происходить при механической очистке их от накипи.

Ползучесть. Это явление, заключающееся в том, что металл, нагруженный при постоянно высокой температуре, медленно и непрерывно пластически деформируется под воздействием постоянных во времени напряжений.

					ДП-22.03.01 ПЗ	<i>Лист</i>
						22
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Величина термических напряжений и вызываемая ими деформация зависят от степени стеснения деформации. При свободном расширении равномерно нагреваемого стержня степень стеснения деформации отсутствует, а температурные напряжения равны нулю. Углеродистые стали менее стойки против тепловой усталости, чем низколегированные стали перлитного класса.

Термической усталости подвержены внутренние поверхности паропроводов в местах впрыска воды для регулирования температуры перегрева пара, паропроводы в местах заброса конденсата из дренажных линий; чередующиеся нагревы и охлаждения могут происходить при пульсации границы раздела между паром и водой в переходной зоне прямоточного котла до критических параметров при периодической подаче относительно холодной питательной воды в барабан котла, при движении пароводяной смеси по горизонтальным или слабонаклонным трубам, обогреваемым топочными газами [6].

При высоких температурах, большом количестве циклов до разрушения и низкой частоте нагружения трещины термической усталости носят межкристаллитный характер; при умеренных температурах, больших температурных интервалах термоцикла и малом числе циклов трещины бывают транскристаллитными.

					ДП-22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

2 Методы проведения исследований

Исследования образцов элементов труб котла паровой турбины проводились с применением металлографического анализа, фрактографии изломов и макроисследования.

2.1 Методика проведения макроанализа

Макроскопический анализ – изучение строения материала не вооружённым глазом или увеличением до 30-ти крат.

Макроанализ проводился на приборе МБС 3 – микроскопе с увеличением от 4х до 100 крат (рис. 4), работающем как при искусственном так и естественном освещении..



Рисунок 4 – Микроскоп МБС 3

С помощью данного прибора визуально удалось определить поверхностные дефекты, трещины

Наблюдаемая структура называется микроструктурой. Анализ проводился при увеличении в 100 и 500 раз. Изображение, передаваемое цифровой фотоаппаратурой, выводится на монитор компьютера. Далее полученное изображение можно сохранить в необходимом нам формате, например, с расширением *jpg* или *gif*.

					ДП-22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

3.1 Фрактография изломов и макроисследования

Образец № 1. Повреждение представляет собой продольную трещину с не обогреваемой стороны трубы. протяженностью 59 мм по наружной поверхности на гйбе трубы и максимальным раскрытием до 0.7 мм (рис. 7). Геометрические размеры трубы не выходят за допускаемые пределы. На внутренней поверхности трубы наблюдаются многочисленные продольные макротрещины радиального направления, расположенные как с обогреваемой, так и не с обогреваемой стороны трубы. Глубина трещин изменяется от 0,02 мм до сквозной трещины (рис. 6 а, б).



а



б

Рисунок 6 – Поврежденная труба НРЧ:

а – внешняя сторона; *б* – внутренняя сторона

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ДП-22.03.01 ПЗ

Лист

33

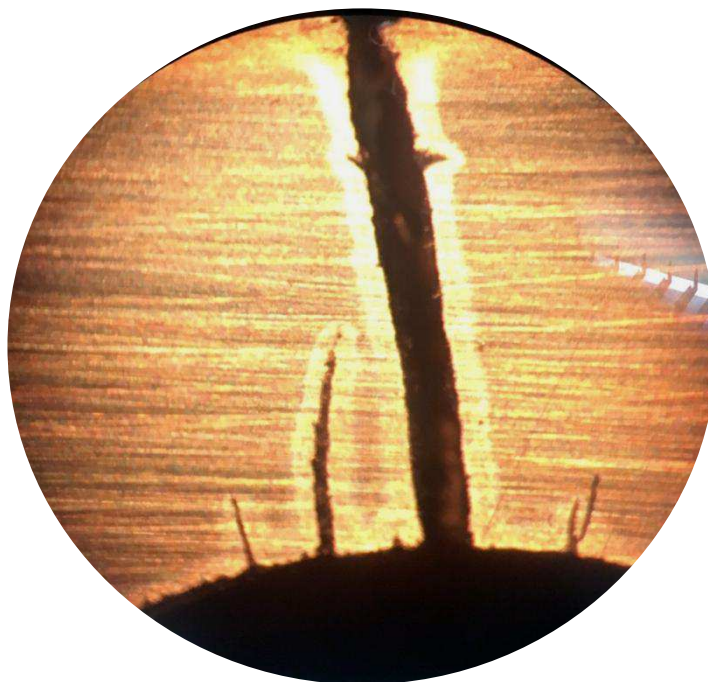


Рисунок 7– Магистральная трещина

Образец № 2. Повреждение представляет собой сквозную кольцевую трещину (рис. 8,9) протяженностью 60% длины окружности и максимальным раскрытием 0.5 мм по границе композитного стыкового сварного соединения, развивающуюся наружной поверхности трубы из стали 12Х1МФ. Изменения геометрических размеров трубы не наблюдается.

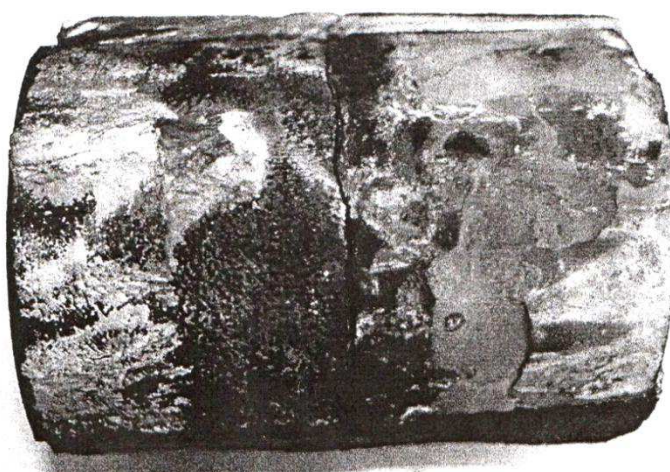


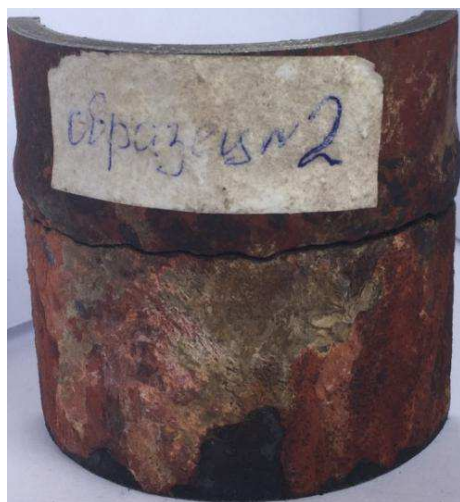
Рисунок 8 – Поврежденная труба ШВП

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

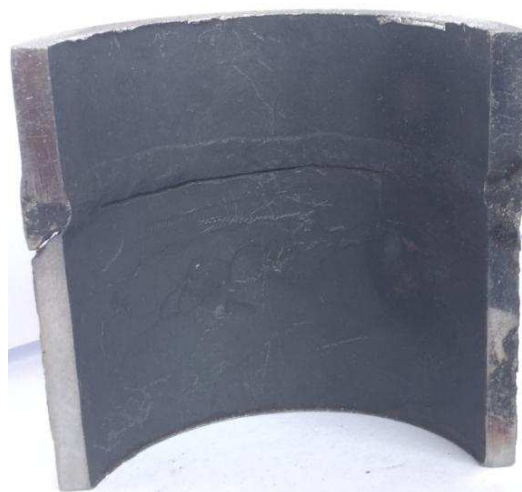
ДП-22.03.01 ПЗ

Лист

34



а



б

Рисунок 9 – Поврежденная труба ШВП: *а* – внешняя сторона; *б* – внутренняя сторона

Образец № 3. Повреждение представляет собой продольную сквозную трещину протяженностью до 140 мм с максимальным раскрытием 12 мм, которая проходит по середине плавника (рис. 10, *а*) с началом развития от внутренней поверхности трубы. Края разрыва ровные, прямолинейные. Утонения стенки вблизи повреждения не наблюдается. На внутренней поверхности трубы развитие трещины достигает длины более 90 мм от места раскрытия (рис. 10, *б*).



а



б

Рисунок 10 – Поврежденная труба ВРЧ: *а* – внешняя сторона; *б* – внутренняя сторона

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ДП-22.03.01 ПЗ

Лист

35

по месту наибольшего раскрытия наблюдается продольное макрорастрескивание наружной и внутренней поверхности. Внутренняя поверхность трубы покрыта плотной поверхностной оксидной пленкой, на наружной поверхности толщина сохранившегося слоя окалины достигает 0,2мм.

Образец № 8. Повреждение представляет собой продольный разрыв по внешней образующей гйба, протяженностью 150 мм и максимальным раскрытием 55 мм (рис. 17).

Остаточная деформация, предшествующая разрыву, составляет 23%, при этом минимальная толщина стенки по кромке разрыва равна 2,6 мм. Вблизи разрыва наблюдается продольное растрескивание (рис. 18 а, б).

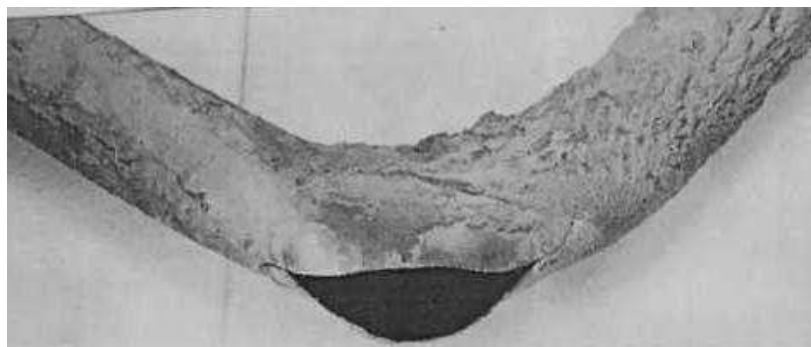


Рисунок 17 – Поврежденная труба ШПП



a



б

Рисунок 18 – Поврежденная труба ШВП: *a* – внешняя сторона; *б* – внутренняя сторона

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ДП-22.03.01 ПЗ

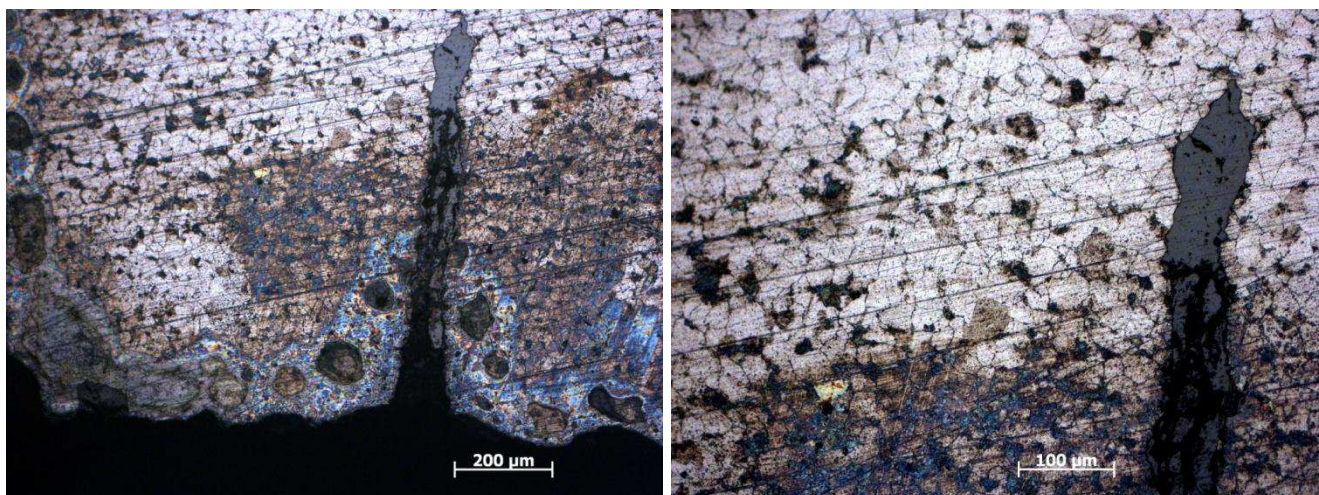
Лист

39

Толщина окалины на внутренней поверхности поврежденной трубы равна 0,7 мм, величина отложений на наружной поверхности достигает 4,5 мм.

3.2 Металлографические исследования

Образец №1. Металлографическим анализом установлено, что структура металла трубы представляет собой зерна феррита, перлитной составляющей, наличие карбидов. Микроструктура металла внутренней поверхности характеризуется наличием многочисленных коррозионных язв (рис. 19 *а, б*), которые являются концентраторами напряжений и от них берут начало трещины. Под действием напряжений растяжения, происходит соединение образовавшихся микротрещин в макротрещину, которая в процессе эксплуатации и привела к разрушению трубы. Основная трещина имеет вид глубокого коррозионного каната с пережимами (рис. 20), что по морфологическим признакам характерно для коррозионно-усталостной трещины



а

б

Рисунок 19 – Микроструктуры: *а* – $\times 200$; *б* – $\times 200$

					ДП-22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40



Рисунок 23 – Берега трещины с неметаллическими включениями



Рисунок 24 – Магистральная трещина

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ДП-22.03.01 ПЗ

Лист

43

Образец № 5. Металлографическим анализом установлено , что микроструктура поврежденного участка (рис. 25) представляет собой низкоуглеродистый мартенсит . Кроме того, в зоне наибольшей деформации наблюдается текстура. В структуре наружной поверхности трубы вблизи разрыва наблюдается деформационное растрескивание (рис. 26). Первоначальный проект котла предусматривал изготовление блоков НРЧ из стали 12Х1МФ следовательно , ее жаропрочные свойства удовлетворяют расчету на прочность при эксплуатации на расчетных параметрах.

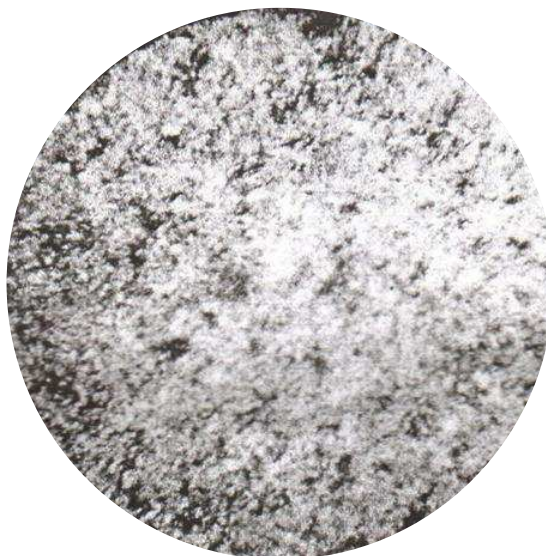


Рисунок 25 – Микроструктура $\times 200$

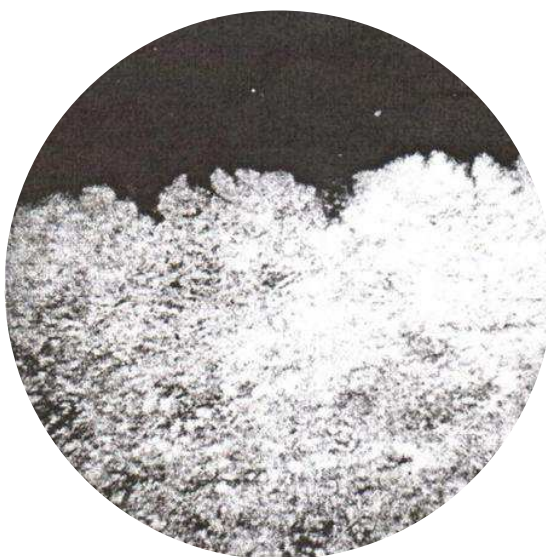
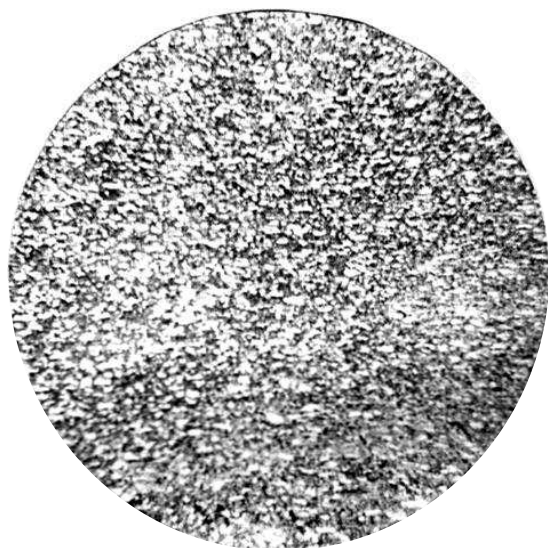


Рисунок 26 – Микроструктура $\times 200$

Образец № 6. Металлографическим анализом установлено, что микроструктура металла кромок разрыва характеризуется наличием текстуры и перекристаллизованной перлитной составляющей (рис. 27 а,б). В структуре металла участка трубы удаленного от места разрыва на 300 мм, также наблюдается наличие участков перекристаллизованного перлита (рис. 28 а,б)

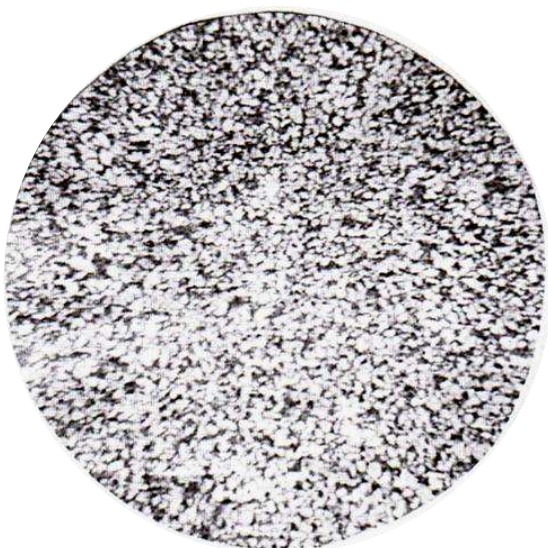


a, ×100

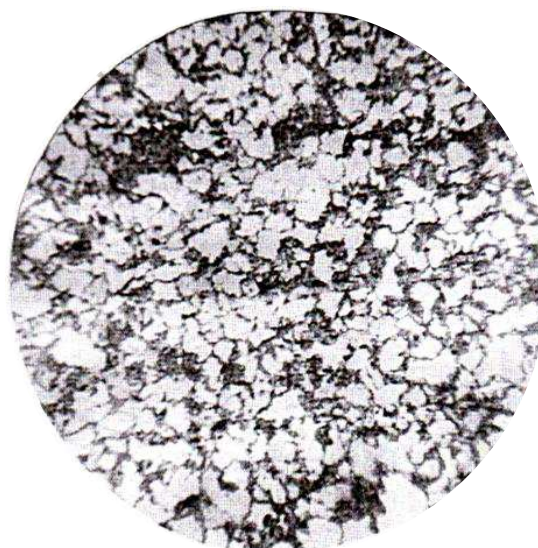


б, ×300

Рисунок 27 – Микроструктуры



a, ×100



б, ×300

Рисунок 28 – Микроструктуры: *a* – х100; *б* – х300

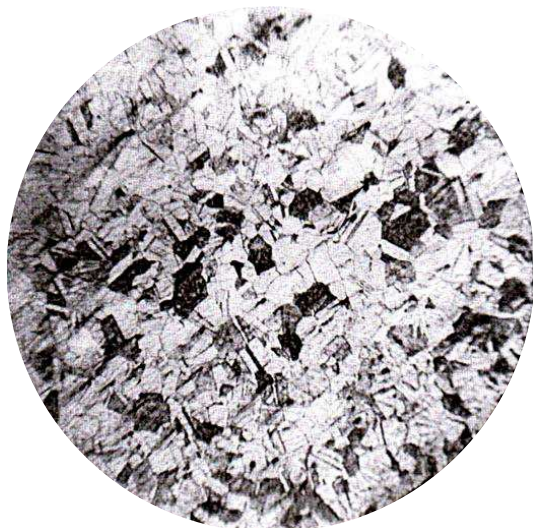
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ДП-22.03.01 ПЗ

Лист

45

Образец № 7. Микроструктура металла зоны трубы, не имеющей остаточной деформации. аустенитная с линиями двойникования и карбидными включениями. Границы зерен четкие, величина зерна, что наблюдалось и в исходном состоянии (рис. 31 а,б). Микроструктура кромок разрыва характеризуется наличием текстуры, дроблением зерна, исчезновением двойников (рис. 30 а,б)

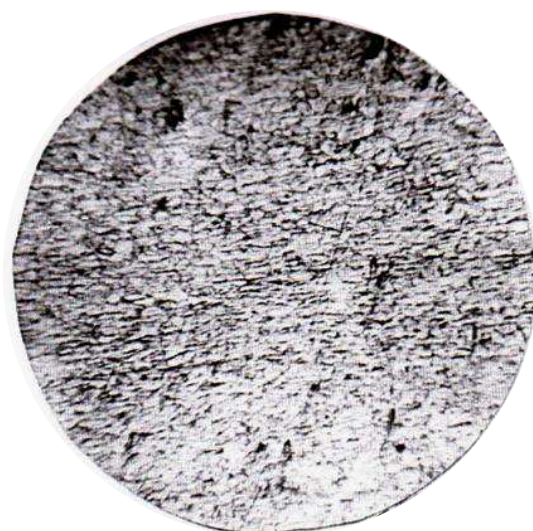


a ×300

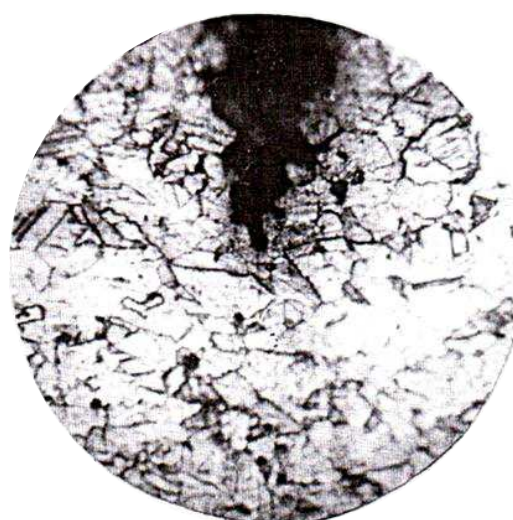


б ×300

Рисунок 29 – Микроструктуры: *a* – х100; *б* – х300



a ×100



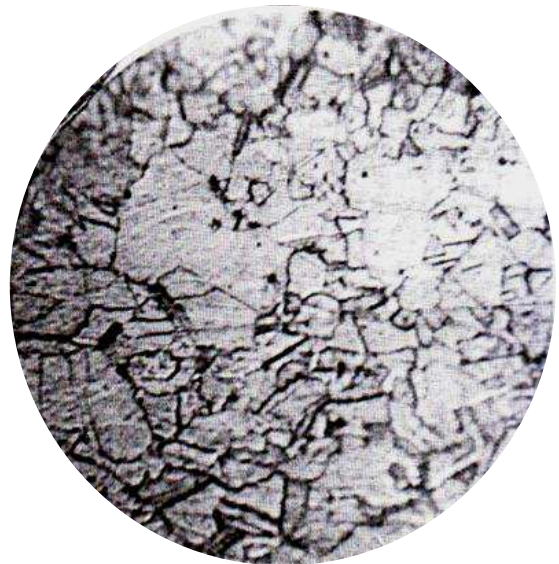
б ×300

Рисунок 30 – Микроструктуры: *a* – х100; *б* – х300

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



a ×200



б ×300

Рисунок 31 – Микроструктуры: *a* – х100; *б* – х300

Образец № 8. Металлографическим анализом установлено, что структура металла не рекомендованная (рис. 32).

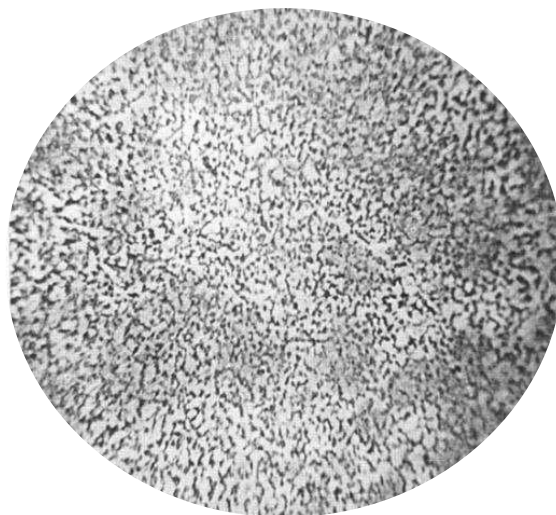


Рисунок 32 – Микроструктура, ×200

Наблюдается значительная степень сфероидизации, характеризующаяся отсутствием границ перлитных зерен, увеличением размеров сфероидов цемен-

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ДП-22.03.01 ПЗ

Лист

47

тата и наличием большого количества цементитных сфероидов, расположенных по границам ферритных зерен.

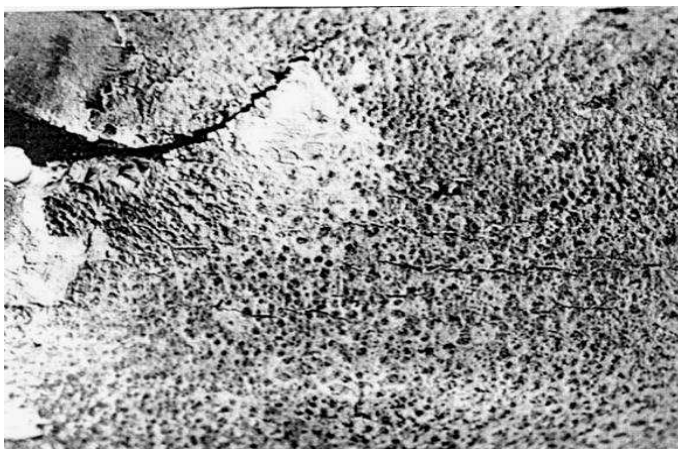


Рисунок 33 – Микроструктура, $\times 200$

Эквивалентная температура эксплуатации, определяемая по зависимости степени структурных превращений от времени эксплуатации, для поврежденной трубы находится в пределах $600\text{--}620\text{ }^{\circ}\text{C}$, тогда как предельно допустимое значение температуры эксплуатации для труб из стали 12Х1МФ – $585\text{ }^{\circ}\text{C}$. На берегах трещин наблюдаются многочисленные поры (рис. 33), т.е. трещина развивается по механизму порообразования и относится к трещине ползучести.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное комплексное исследование образцов показало, что основными причинами разрушения элементов котлов паровых турбин, является:

1 Перегрев металла выше температур эксплуатации, что вызывает разрушение металла и как следствие, приводит к ускоренной ползучести.

2 Коррозионно-усталостное разрушение

					ДП-22.03.01 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		49

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
Кафедра Материаловедение и технологии обработки материалов

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
В.И. Темных
(подпись)
« » 2018 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Направление 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов
Профиль 22.03.01.07 Материаловедение и технологии материалов
в машиностроении

**Влияние технологических режимов на причины и характер
разрушений элементов котлов паровых турбин**

Руководитель

25.06.18. [подпись] О.А. Масанский
(подпись, дата)

Выпускник

25.06.18 [подпись] Р.В. Канайкин
(подпись, дата)

Нормоконтролер

[подпись] 25.06.18 Л.А. Свечникова
(подпись, дата)

Красноярск 2018

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт Политехнический

институт

Материаловедение и технологии обработки материалов

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 В.И. Темных

подпись

инициалы, фамилия

« ___ » _____ 2018 г

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы

Студенту Канайкину Роману Владимировичу
фамилия, имя, отчество

Группа МТ14-01Б Направление (специальность) 22.03.01
код

Материаловедение и технологии материалов
наименование

Тема выпускной квалификационной работы: Влияние технологических режимов на причину и характер разрушения элементов котлов паровых турбин

Утверждена приказом по университету № 2261/с от 14 февраля 2018 г.
Руководитель ВКР О.А. Масанский, доцент каф. МиТОМ к-т тех. наук
Исходные данные для ВКР: подбор образцов элементов котла П-67 паровой турбины для проведения анализа причин разрушения.
Перечень разделов ВКР: Введение. Литературный обзор. Методическая часть. Экспериментальная часть. Заключение. Список использованных источников.

Перечень графического материала: презентация по теме исследования

Руководитель ВКР


подпись

О.А. Масанский
инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению


подпись

Р.В. Канайкин
инициалы и фамилия студента

« ___ » _____ 2018 г.