

Раздел 3. «Технические науки и технологии»

МРНТИ 44.31.31

Н.Н. Асабина

*Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Республика Казахстан
(e-mail: n.assabina@tttu.edu.kz)*

Исследование особенностей коррозии аустенитных труб пароперегревателей котлов сверхкритического давления

В статье приводится анализ эксплуатационных данных повреждаемости труб 12X18H10T от окалинообразования, межкристаллитной коррозии и коррозионного растрескивания под напряжением; методики исследования влияния отложений на процессы коррозии в перегретом паре и на воздухе. Рассмотрен механизм нарушения целостности пленки на поверхности металла. Проведен анализ влияния окислительных режимов на сокращение ресурса пароперегревателей. Рассмотрены причины повреждений нержавеющей труб пароперегревателей в котлах сверхкритического давления. Изучены материалы лабораторных испытаний, проведенные после аварийных остановов котлов ГРЭС. Где проводилась вырезка змеевиков КПП ВД II ступени; исследования солевой коррозии при $t=470\text{K}$ 50°C на плоских образцах аустенитной стали 12X18H12T с предварительным нанесением хлоридов натрия совместно с диоксидом кремния. На основе проведенных исследований приведены выводы об особенностях коррозии аустенитных труб пароперегревателей.

Ключевые слова: межкристаллитная коррозия, окалинообразование, аустенитная сталь, пароперегреватель, окислительный режим, коррозия, охрупчивание.

Введение

Окалинообразование и бездеформационные повреждения труб конвективных пароперегревателей продолжают оставаться актуальной проблемой надежности котлов СКД, особенно при окислительных воднохимических режимах. Отсутствие приемлемого механизма, объясняющего повреждение окалиностойкой и жаропрочной стали 12X18H12T со стороны перегретого пара при рабочих температурах металла 430-640 °С, затрудняет выявление причин интенсивного окалинообразования и хрупких разрушений труб задолго до исчерпания их ресурса. То, что проблема растрескивания аустенитных сталей связана с загрязненностью пара хлоридами при наличии кислорода, высказывалось ранее [1]. В то же время проблема растрескивания и окалинообразования может быть рассмотрена как результат действия на металл непосредственно теплоносителя загрязненного перегретого пара или различных отложений, накопление которых на внутренней поверхности труб происходит из пара.

Основная часть

Сохранение целостности пленки является решающим фактором для предотвращения хрупких разрушений металла. Однако при интенсивном окалинообразовании сравнительно редки случаи охрупчивания труб пароперегревателей. В связи с этим растрескивание металла в перегретом паре, вероятно, происходит в условиях пассивности основной поверхности металла и окисления его по границам зерен, а интенсивное окалинообразование протекает в условиях окисления (активирования) общей поверхности металла (всего тела зерен).

Различие этих двух механизмов разрушения позволяет по-иному оценить тот или иной вклад эксплуатационных факторов на ресурс металла, который в настоящее время оценивается только с учетом окалинообразования на основании определения уменьшения толщины трубчатых элементов поверхностей нагрева за время их эксплуатации. Утонение труб рассчитывают отдельно для

Раздел 3. «Технические науки и технологии»

внутренней и наружной поверхностей, так как их температура различна и окисление происходит в разных средах: в водяном паре и продуктах сгорания топлива [2]. Глубина коррозии стали 12X18H12T на основании результатов испытаний составляет за 100 000 ч при различных температурах соответственно в водяном паре: при 500, 550, 600 и 700 °С - 0,007, 0,02, 0,04, 0,16 мм; на воздухе: 0,0002, 0,0007, 0,002, 0,009 мм.

Считается безопасной толщина пленки на аустенитной стали до 20 мкм, при увеличении толщины окалины до критического значения 50-60 мкм происходит ее скалывание, что снижает надежность работы труб.

Результаты и обсуждения

Противоречивость данных по влиянию окислительных режимов на сокращение ресурса пароперегревателей проявляется в том, что в исследованиях [3, 4] время до разрушения образцов нержавеющей стали при заданном механическом напряжении и температурах 815-871 °С всегда было больше в окислительной среде, чем в нейтральной. Безопасность работы нержавеющей труб в перегретом паре сверхкритических параметров при наличии в нем больших количеств растворенных O_2 и $NaCl$ отмечена при длительности до 5000 часов [5]. Опыты проводились при концентрации хлоридов 0,5-5 мг/кг, O_2 - 0,01-0,2 мг/кг; температура металла образцов 620-650 °С, температура пара 520-540 °С. По результатам опытов констатируется отсутствие межкристаллитного и транскристаллитного растрескивания на различных марках аустенитной стали и делается вывод, что коррозионное растрескивание под напряжением в перегретом паре исключается по электрохимическому механизму, поскольку в этом случае пар является диэлектриком.

Причина повреждений нержавеющей труб пароперегревателей усматривается в глубоких перегревах металла при гидродинамических нарушениях, в неоднородности тепловосприятия отдельных труб с газовой стороны при стационарной эксплуатации.

В отличие от предыдущих исследований приводятся данные по межкристаллитной коррозии в газовой фазе при наличии хлоридов на поверхности металла. Так, в паре при 600-650 °С под нагрузкой 200 МПа образцы аустенитной стали типа X18H9 с осадком хлорида подвергались межкристаллитному окислению и растрескиванию за 500 ч; аналогичному воздействию подвергались образцы с нанесенным осадком хлоридов на воздухе при температуре 600 °С. Образцы без осадка не растрескивались, пока не наступало чисто механическое разрушение от ползучести.

Агрессивность солевых загрязнений на поверхностях пароперегревателей трудно объяснить воздействием расплавов чистых солей, так как температура плавления большинства из них значительно выше допустимых температур при эксплуатационных режимах, так, $NaCl$ - 800 °С, Na_2SO_4 - 884 °С, $MgCl_2$ - 714 °С, $CaCl_2$ - 765 °С. В то же время температура плавления эвтектической смеси $MgCl_2$ (0,438 М) - $NaCl$ (1 М) составляет 442 °С [6].

Можно предположить, что появление жидких фаз в отложениях наблюдается уже при температуре начала их деформации (размягчения отложений). Чем более тугоплавки отложения, тем они менее агрессивны. Анализ данных по температурам плавления наружных отложений труб НРЧ, представленных в виде оксидов, выявил тенденцию изменения температуры плавления от содержания различных компонентов. Температура плавления отложений снижается с увеличением содержания суммы компонентов Na_2O , H_2O , SO_3 и повышается с увеличением содержания Fe_2O_3 , CaO и MgO . Однако данные по температурам плавления соединений, близких по составу к отложениям в пароперегревателях, отсутствуют. Если рассматривать два типа коррозионных разрушений пароперегревателей, то следует отметить, что выход из строя труб из-за интенсивного окалинообразования наиболее характерен для КПП высокого давления при окислительных режимах и объясняется кратковременными перегревами металла змеевиков до температуры выше 800 °С.

Проведенные после аварийных остановов на одной ГРЭС вырезки змеевиков КПП ВД II ступени визуально отличались по цвету от остальных. Сечение нижних гибов змеевиков было перекрыто окалиной чешуйчатого типа (из 17 вырезанных калачей семь оказались забиты окалиной).

Вынос мелкодисперсной окалины на этой ГРЭС с блоками 800 МВт происходил как в стационарном, так и пусковых режимах. При периодическом нарушении качества питательной воды по x выше 3 мкСм/см содержание кислорода в паре не превышало 200 мкг/кг. В состав образований,

Раздел 3. «Технические науки и технологии»

забивших змеевики КПП высокого давления II ступени котла, входили, %: Fe_2O_3 - 88,7, FeO - 8,82, CuO - 0,09, Cr_2O_3 - 1,1, NiO - 0,4, CaO - 0,13, MgO - 0,76.

Забитые змеевики были подключены к нижней образующей коллектора и расположены напротив подводящих труб, являясь крайними змеевиками ленты. На блоке 300 МВт этой ГРЭС забивание окалиной труб КПП низкого давления II ступени произошло через 4 месяца после перевода на окислительный режим. Подобных явлений при эксплуатации блоков на гидразинно-аммиачном водном режиме не было. Вынос мелкодисперсных частиц с теплоносителем в зависимости от конструкции пароперегревателей и режима эксплуатации энергоблока приводил к забиванию проходных сечений труб КПП-1 ВД (котлы ТГМП-204) и КПП-И ВД (котлы ТП-312А, ТГМП-314).

Массовые повреждения труб 12Х18Н12Т в виде хрупких разрушений выходной (II) ступени промежуточного пароперегревателя КПВ-П произошли на котлах П-69 блоков 300 МВт, работающих на нейтрально-кислородном водно-химическом режиме, при сравнительно низкой температуре металла при стационарной эксплуатации ($t_{вн}=488$ °С, $t_{нар}=602,3$ °С, $p=3,86$ МПа).

Повреждаемость нижних труб змеевика КПВ-П от межкристаллитной коррозии составила:

- на котле № 1 - 11 шт. после наработки 13 969 ч, 20 шт. - 18 153 ч, 28 шт. - 23 279 ч, 30 шт. - 29 782 ч;

- на котле № 2 - 3 шт. - 4773 ч, 10 шт. - 9643 ч, 17 шт. - 15 424 ч, 22 шт. - 20 029 ч, 26 шт. - 25 788 ч;

- на котле № 3 - 5 шт. - 17 655 ч, после 26 205 ч не изменилась;

- на котле № 4 после 23 632 ч повреждаемость труб КПВ-Ц отсутствовала;

- на котле № 5 - 2 шт. - 4553 ч, 20 шт. - 9916 ч, 21 шт. - 15 864 ч.

Следует отметить, что разрушения происходили в основном в определенной зоне между 1-й и 2-й балками в условиях стесненной деформации.

Приподнятость змеевиков КПВ-П на всех нитках ряда котлов в районе 4-й и 5-й балок доходила до 195-200 мм. На внутренней поверхности поврежденных труб имелись неравномерные отложения темно-коричневого цвета, интенсивность бугорчатых отложений увеличивалась вблизи сварных стыков. Отслаивание оксидной пленки происходило в виде отдельных пузырей и полос длиной до 20 мм.

Удельная загрязненность внутренней поверхности труб составила от 38 до 266 г/м. Состав отложений, %: Fe_2O_3 - 63,8, Al_2O_3 - 7,11, SiO - 4,58, Ca - 2,52, SiO_2 и нерастворимая часть 21,52. Образование трещин начинается с внутренней поверхности труб. Трещины имеют ярко выраженный межзеренный характер. Хрупкие повреждения отмечаются в виде сквозных поперечных трещин длиной 20-50 мм на половину периметра. Максимальное раскрытие трещины до 6 мм. В местах повреждения пленки идет выкрашивание металла.

Статистика повреждаемости труб КПВ II ступени на этой ГРЭС показывает вероятность одновременного влияния нескольких факторов, необходимых для развития и ускорения коррозионных процессов. Развитие из межкристаллитной коррозии с глубиной проникновения 0,14-0,4 мм макроразрушений в виде ориентированных поперечных трещин с лобовой и тыльной сторон трубы; является результатом действия на заземленные трубы (недостаток конструкции) нерасчетных осевых напряжений, возникающих в условиях частых циклов нагрева и охлаждения труб (при впрыске) вследствие температурной разверки верхней трубы змеевика (с набегающим тепловым потоком) и нижней трубы (охлаждаемой при впрыске).

На данной ГРЭС необходимость использования частых аварийных впрысков возникла при изменении технологии сгорания топлива (при переходе от угля к газу), при которой факел стал затягиваться в верхнюю часть топки, что вызвало увеличение температуры в пароперегревателях. Для ее регулирования были увеличены частота и объем впрыска (особенно при малых расходах питательной воды). Инкубационный период, необходимый для развития поперечных макротрещин, связан с глубиной межкристаллитной коррозии (на котле № 5 за 15 864 ч глубина МКК достигала 1,5 мм), развивающейся в продольном направлении. На то, что развитие МКК связано с накоплением на поверхности труб агрессивных солей при эксплуатационных режимах; и в результате уменьшения их

Раздел 3. «Технические науки и технологии»

растворимости в перегретом паре при снижении температуры и давления пара в КПП II ступени, а не при упаривании во время стояночных режимов, указывает тот факт, что большинство макроразрушений и МКК развивается по верхней внутренней стенке трубы со стороны набегающего теплового потока. Необходимо отметить, что ни в одном случае хрупкого разрушения труб не обнаружено перегрева самого металла.

В связи с отсутствием конкретных данных по влиянию интенсивности солевых загрязнений на коррозию нержавеющей стали, 12X18H10T применительно к условиям работы пароперегревателей, были проведены лабораторные и стендовые эксперименты.

Лабораторные исследования солевой коррозии проводились при $t=470\text{K}$ 50°C на плоских образцах аустенитной стали 12X18H12T с предварительным нанесением хлоридов натрия совместно с диоксидом кремния. Часть образцов была покрыта хлоридами натрия совместно с соединениями меди и диоксида кремния.

Отложения SiO_2 отличаются большой адгезией к поверхности металла. Воздействие сухих солей на воздухе при повышенной температуре исключает стадию смачивания их при конденсации влаги, решающая роль которой рассматривалась при хлоридном растрескивании аустенитных сталей. Солевые отложения наносили из водных растворов на определенную площадь поверхности при нагреве металла до $200\text{-}250^\circ\text{C}$.

Лабораторные испытания проводились с солевыми отложениями повышенной интенсивности до 10 г/м^2 ; содержание в них NaCl варьировалось от $0,2$ до $5,6\text{ мг/см}^2$, SiO_2 от $0,015$ до $0,062\text{ мг/см}^2$.

Образцы помещали в муфельную печь и выдерживали в течение $5 - 10$ ч. После испытаний образцы подвергали катодному травлению и после удаления отложений взвешивали.

Солевые отложения при указанной интенсивности (толщине) были полупрозрачны, и это позволило наблюдать различные стадии окисления металла под отложениями. Отложения NaCl с интенсивностью выше 200 мкг/см^2 резко понижали окалиностойкость стали 12X18H12T при исследуемых температурах. После 1 ч. испытаний площадка с солевыми прозрачными отложениями покрывалась сплошной неравномерной черной окалиной. Увеличение в отложениях количества SiO_2 до 30 мкг/см^2 приводило к локализации окисления поверхности, то есть к появлению участков с пятнами и последующим образованием пузырей с разрывом. Под пузырем образуется новая оксидная пленка. При соотношении $\text{NaCl}:\text{SiO}_2$ более $10:1$ появление мелких пузырей наблюдается после нескольких часов. С течением времени пятна золотистого цвета как бы растекались под солевой пленкой, и при последующей выдержке компоненты стали, проникали через солевую пленку, как бы оплавляя белые кристаллы NaCl . Часто при росте оксидной пленки напряжения, которые создавались в солевой пленке, приводили не к сколу, а к образованию ячеистых структур, напоминающих межкристаллитную коррозию металла. Внутри пятна окарины наблюдались темные мелкие шарики, бугорки.

На рисунке 11 представлена зависимость потери массы образцов от поверхностной концентрации хлоридов натрия (интенсивности загрязнения) при различной температуре. По данным испытаний наиболее опасными эксплуатационными температурами аустенитной стали 12X18H12T, являются $550\text{-}570^\circ\text{C}$. Это, вероятно, объясняется тем, что при более высокой температуре (до 650°C) формируется оксидная пленка, фазовый состав которой более устойчив к окислению даже при наличии повышенных хлоридов натрия на поверхности металла [27].

Как видно из рисунка 12, введение в состав отложений с повышенным содержанием хлоридов натрия (более $0,2\text{ мг/см}^2$) соединений меди резко снижает окалиностойкость стали 12X18H10T. В отличие от образцов для лабораторных испытаний с повышенной интенсивностью загрязнения хлоридами натрия в стендовых испытаниях интенсивность варьировалась в пределах от $0,01$ до $0,5\text{ мг/см}^2$.

Раздел 3. «Технические науки и технологии»

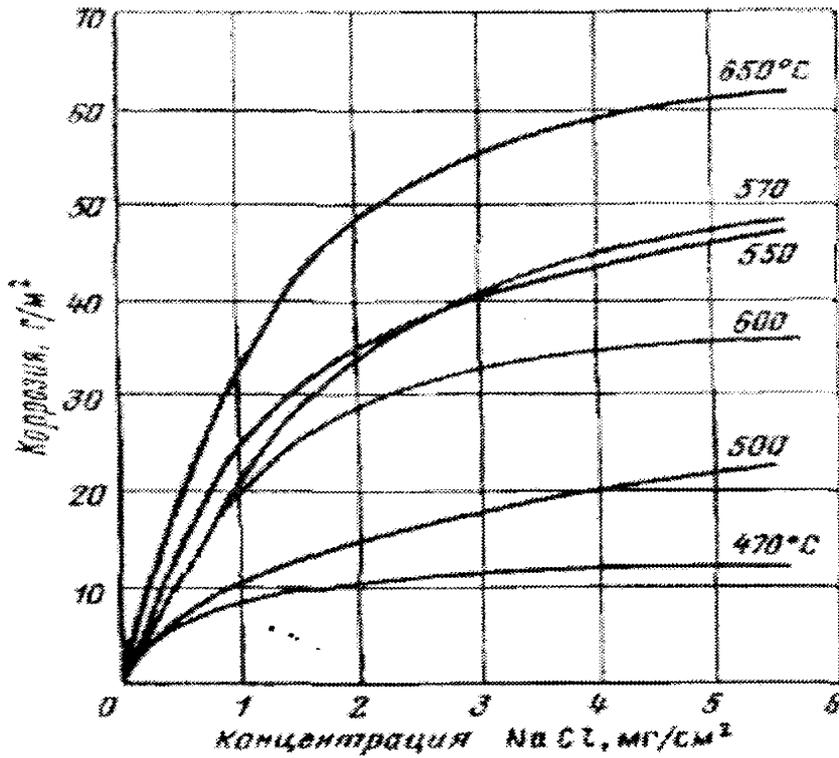


Рисунок 11 - Потеря массы (коррозия) аустенитной стали 12X18H12Т на воздухе при различной температуре в зависимости от содержания на поверхности металла хлорида натрия $SiO_2 > 0,06$ мг/см²; $t = 5$ ч.

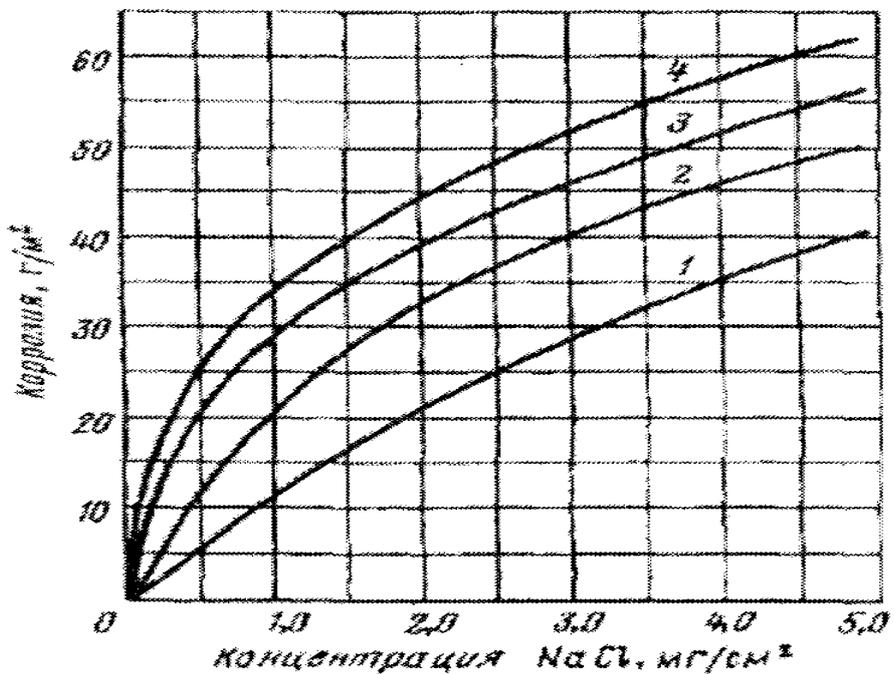


Рисунок 12 - Потеря массы (коррозия) аустенитной стали 12X18H12Т на воздухе при $t=510$ °С в зависимости от содержания на поверхности металла хлорида натрия и соединений меди ($t = 5$ ч). Состав отложений, мг/см²: $SiO_2 = 0,06$. 1 - без медных отложений; 2- $SiO = 0,01$; 3 - $SiO = 0,05$; 4 - $SiO = 0,2$.

Испытания проводили в течение 500 ч при средних параметрах пара 14 МПа, 490 °С. Подготовленные плоские образцы собирались в кассеты. При этом каждый образец крепился двумя

Раздел 3. «Технические науки и технологии»

винтами к металлической полосе с размерами 500x25x2 мм. образцы размещались с двух ее сторон. Полоса с образцами располагалась внутри трубы ($d_{вн}=42x4$), к которой она крепилась посредством штифтов, установленных поперек трубы. Выходящие из трубы концы штифтов обваривались. Кассета, представляющая собой отрезок трубы стали 12Х1МФ с установленными в ней образцами, вваривалась в горизонтальный участок паропровода стенда, предназначенного для испытаний натуральных элементов энергооборудования.

В процессе испытаний пар на стенд поступал от котла ТЭЦ с гидразинно-аммиачным водно-химическим режимом. За время испытаний было осуществлено три пуска и остановка стенда. В процессе пуска скорость изменения температуры пара составляла 5 °С/мин.

Расход пара поддерживался на уровне 0,3 кг/с. Соответствующая этому расходу скорость течения среды составляла 6,7 м/с. Результаты стендовых испытаний образцов стали 12Х18Н10Т представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты стендовых испытаний образцов аустенитной стали 12Х18Н10Т в перегретом паре при $t = 490^{\circ}\text{C}$, $p = 14$ МПа в течение 500 ч.

Загрязненность поверхности			Описание внешнего вида образцов
NaCl	CuO	SiO ₂	
0	0,1	0,0625	Пленка золотистого цвета с цветами побежалости с омеднением поверхности и пятнами потускнения (без питтинга)
0,01	0,1	0,0625	Пленка с цветами побежалости с образованием пятен ($d = 3$ мм), внутри пятен мелкий питтинг (до 25 шт.)
0,025	0,1	0,0625	Снижение плотности питтинга внутри пятен, его углубление
0,05	0,1	0,0625	То же
од	0,1	0,0625	Появление серой пленки окалина с исчезновением рисок от шлифовки
0,01	отсутствие	0,0625	Пленка с цветами побежалости с пятнами d до 1 мм, внутри которых одиночные питтинги (2-4 шт.)
0,05	То же	0,0625	Начало окал и необразованна (появление участков серой пленки)
0,5	-	0,0625	Окисление поверхности до серого цвета (окаинообразование), исчезновение рисок от шлифовки
0,01	-	0,625	Пленка с цветами побежалости с образованием пятен, меньшего количества, чем в случае с образцами с CuO, внутри пятен одиночные глубокие питтинги.
0,05	-	0,625	Часть поверхности окислена до серого цвета
0,01	0,1	0,625	Пленка золотистого цвета. Образование пятен с сеткой трещины ячеистой структуры.
0,05	0,1	0,625	Окисление поверхности до серого цвета с сеткой трещин в пленке, перерождение мелкого питтинга в язвы

Как видно из таблицы 1, соединения меди без хлоридов не приводят к локальным повреждениям поверхности образца. В то же время добавка в отложения небольшого количества хлоридов натрия (0,01 мг/см) приводит к появлению мелкого питтинга внутри пятен локального повышенного окисления поверхности.

Глубина общего окисления омедненной поверхности в данном случае невелика, так как видны механические риски от шлифования. Дальнейшее увеличение интенсивности хлоридов в отложениях приводит к постепенному углублению и укрупнению питтинга и при поверхностной концентрации хлоридов 0,1 мг/см к появлению окалина серого цвета с исчезновением рисок от шлифовки. При малых содержаниях хлоридов натрия до 0,01 мг/см соединения меди увеличивают плотность локального точечного окисления поверхности.

Раздел 3. «Технические науки и технологии»

При содержании в отложениях хлоридов 0,01 мг/см, соединений меди 0,1 мг/см увеличение интенсивности загрязнения поверхности соединениями SiO₂ с 0,06 до 0,6 мг/см приводит к появлению сетки трещин в оксидной пленке.

Рассматривая механизм хрупкого разрушения (от межкристаллитной коррозии) нержавеющей стали 12X18H10T, при сравнительно низких температурах для этого металла, следует выявить влияние роли окислителя - кислорода и перегретого пара на развитие той или иной стадии коррозионного процесса.

Известно, что взаимодействие кислорода с чистой металлической поверхностью происходит через адсорбцию, формирование центров окисления (локальное окисление), роста сплошной оксидной пленки. Стадия физической адсорбции O₂ сопровождается хемосорбцией атомарного кислорода. Вероятно, эта стадия контролирует процесс окисления металла, так как устойчивый хемосорбированный слой атомарного кислорода вместе с поверхностной высокохромистой оксидной пленкой составляет пассивную пленку, ответственную за коррозионную устойчивость нержавеющей стали. Этот внутренний подокусный слой, вероятно, действует как диффузионный барьер, ограничивая выход ионов металла наружу.

Можно предположить, что основная причина локального точечного окисления и интенсивного окалинообразования пленки заключается в замещении хемосорбированного слоя атомарного кислорода кристаллами NaCl на поверхности металла и обеспечении беспрепятственной диффузии ионов металла с различной подвижностью через оксидную пленку.

Насыщение поверхности водородом при окислении металла перегретым паром (Me+H₂O → MeO+2H) также затрудняет образование пассивирующей кислородной пленки. Образующийся атомарный водород адсорбируется поверхностью металла, диффундирует внутрь его по границам зерен. Высокая концентрация водорода по границам зерен при отсутствии перегрева металла обуславливает охрупчивание металла, а при наличии осевых механических напряжений развитие магистральной трещины. Термоциклические напряжения, возникающие при пусках-остановах и частых аварийных впрысках, способствуют разрушению оксидной пленки и усиливают развитие трещин.

То, что в перегретом паре при наличии кислорода происходит межкристаллитное окисление с последующим наводороживанием металла, а не локализованное химическое растворение в стояночный период (при адсорбции хлор-ионов в водных растворах), подтверждается отсутствием транскристаллитной коррозии (хлоридного коррозионного растрескивания) нержавеющей сталей. Отсутствие пассивного защитного слоя при наличии солевых отложений приводит к тому, что при избытке кислорода в паре происходит интенсивный рост окалины с неоднородным химическим и фазовым составом.

Выводы

В результате анализа особенностей коррозии аустенитных труб пароперегревателей можно сделать следующие выводы:

1. В перегретом паре при $t = 470-570$ °С при периодическом нарушении качества питательной воды по $\chi > 0,3$ мкСм/см возможно протекание солевой коррозии аустенитной стали 12X18H10T, приводящей к локальному повреждению оксидной пленки или интенсивному окалинообразованию.

2. Выявлен характер взаимодействия солевых отложений с оксидной пленкой в перегретом паре и на воздухе:

- наличие в отложениях повышенного содержания хлоридов натрия (выше 0,1 мг/см²) резко снижает окалиноустойчивость стали 12X18H10T, особенно при температуре 550-570 °С;
- соединения кремниевой кислоты в отложениях увеличивают, окалиноустойчивость стали, но при наличии хлоридов приводят к локализации коррозии;
- соединения меди в отложениях приводят к повышенному окалинообразованию.

3. Установлен характер взаимодействия хлоридов натрия при низкой интенсивности загрязнения поверхности 12X18H10T в перегретом паре при $t = 490$ °С:

Раздел 3. «Технические науки и технологии»

- концентрация хлоридов натрия с интенсивностью $0,01 \text{ мг/см}^2$ приводит к точечному окислению поверхности;
- концентрация хлоридов натрия с интенсивностью $0,1 \text{ мг/см}$ приводит к общему окислению поверхности с образованием окалина серого цвета;
- соединения меди в отложениях при одновременном содержании в них хлоридов натрия до $0,05 \text{ мг/см}$ увеличивают плотность точечного окисления поверхности;
- при малых количествах хлоридов натрия ($0,01 \text{ мг/см}$) и наличии медных соединений в отложениях ($0,1 \text{ мг/см}$) увеличение в них содержания SiO_2 с $0,06$ до $0,6 \text{ мг/см}$ приводит к появлению сетки трещин в оксидной пленке.

Список литературы

- 1 Маргулова Т.Х., Акользин П.А., Разумовская Б.Д. О концентрации газообразного кислорода при дозировании его в конденсат энергоблоков СКД / Теплоэнергетика, 1983, с 3-5.
- 2 РТМ 24.030.49-75. Метод учета окалинообразования при расчете на прочность элементов поверхностей нагрева котлов.
- 3 Окисление металлов / Под ред.Ж. Бенара. М.: Металлургия, 1969.
- 4 Шицман М.Е., Мидлер Л.С., Тищенко Н.Д. Окалинообразование на нержавеющей стали в перегретом паре / Теплоэнергетика, 1982, с 51-53.
- 5 Шицман М.Е. Анализ проблемы коррозионного растрескивания применительно к элементам из нержавеющей труб водопаровых трактов блоков СКД, работающих на кислородном водном режиме / Электрические станции, 1991, с 42-49.

Н.Н. Асабина

Аустениттік құбырлардың бу қыздырғыштардың аса критикалық қысымды қазандықтардың коррозиясының ерекшеліктерін зерттеу

Мақалада масштабтың пайда болуынан, кристаллалық коррозиядан және кернеудегі коррозиялық крекингтен 12X18H10T құбырлардың зақымдануының пайдалану деректерін талдау; шөгінділердің қызып кеткен бу мен ауадағы коррозия процестеріне әсерін зерттеу әдістері келтірілген. Металл бетіндегі пленканың тұтастығын бұзу механизмі қарастырылған. Тотығу режимдерінің бу қыздырғыштарының ресурсын қысқартуға әсерін талдау жүргізілді. Супер критикалық қысымды қазандықтардағы тот баспайтын бу қыздырғыш құбырларының зақымдану себептері қарастырылады. ГРЭС қазандықтарының апаттық тоқтауынан кейін жүргізілген зертханалық сынақтардың материалдары зерделенді. ВД II сатылы беріліс қорабының катушкаларын кесу қай жерде жүргізілді; кремний диоксидімен бірге натрий хлоридтерін алдын ала жағумен 12x18n12t аустенитті Болаттың жалпақ үлгілерінде $t=470\text{к}$ 50°C кезінде тұз коррозиясын зерттеу. Жүргізілген зерттеулер негізінде аустенитті бу қыздырғыш құбырларының коррозиясының ерекшеліктері туралы тұжырымдар келтірілген.

Түйінді сөздер: кристаллалық коррозия, масштабтау, аустенитті Болат, бу аллергиясы, тотығу режимі, коррозия, сынғыш.

N.N. Asabina

Study of corrosion features of austenitic tubes of superheaters of supercritical pressure boilers

Раздел 3. «Технические науки и технологии»

The article provides an analysis of operational data on the damageability of pipes 12X18H10T from scale formation, intergranular corrosion and stress corrosion cracking; methods for studying the effect of deposits on corrosion processes in superheated steam and in air. The mechanism of breaking the integrity of the film on the metal surface is considered. The analysis of the influence of oxidizing regimes on the reduction of the resource of superheaters has been carried out. The causes of damage to stainless tubes of superheaters in supercritical boilers are considered. The materials of laboratory tests carried out after emergency shutdowns of the boilers of the State District Power Plant were studied. Where was the cutting of the coils of the II stage HPC; studies of salt corrosion at $t=470\text{K}$ 50°C on flat samples of austenitic steel 12Kh18N12T with preliminary application of sodium chlorides together with silicon dioxide. Based on the studies carried out, conclusions are drawn about the features of corrosion of austenitic tubes of superheaters.

Key words: intergranular corrosion, scale formation, austenitic steel, steam generator, oxidative regime, corrosion, brittleness.

References

- 1 Margýlova T.H., Akolzin P.A., Razýmovskaja B.D. O kóntsentratsii gazoobraznogo kislóroda pri dozirovanii ego v kondensat energoblokov SKD /Teploenergetika, 1983, s 3-5.
- 2 RTM 24.030.49-75. Metod ýcheta okalinoobrazovaniia pri raschete na prochnost elementov poverhnosti nagreva kotlov.
- 3 Okislenie metallov / Pod red.J. Benara. M.: Metallýrgiia, 1969.
- 4 Shitsman M.E., Midler L.S., Tienko N.D. Okalinoobrazovanie na nerjaveýei stali v peregretom pare / Teploenergetika, 1982, s 51-53.
- 5 Shitsman M.E. Analiz problemy korrozionnogo rastreskivaniia primenitelno k elementam iz nerjaveýih trýb vodoparovyh traktov blokov SKD, rabotayúih na kislórodnom vodnom rejime / Elektricheskie stantsii, 1991, s 42-49.