

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ КОРРОЗИИ ДЫМОГАРНЫХ ТРУБ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ И ИХ ЗАЩИТЕ

Владлен Корохов, Нелли Бусарова

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

г. Симферополь, ул. Павленко, 5, корпус 2, к. 301.

E-mail: midkk@mail.ru

Аннотация. Наиболее характерные виды коррозии стали – это химическая и электрохимическая. Распознавание происшедшего процесса коррозии разрушения стальных элементов конструкций, позволяет осуществить защиту их путем повышения химического сопротивления конструкционных материалов, изоляции поверхности металлов от агрессивной среды, понижением агрессивности обрабатываемого материала или воздействием электрического тока. Представлены результаты диагностического анализа необычного коррозионного разрушения значительного числа дымогарных труб нескольких водогрейных котлов, которые позволили определить причины, вызвавшие их электрохимическую коррозию и разработать мероприятия по профилактической защите котлов от подобного их разрушения.

Ключевые слова: котлы, водогрейные, металл, коррозия, химическая, электрохимическая, разрушения.

ВВЕДЕНИЕ

Коррозионное разрушение металлических материалов в результате физико-химического взаимодействия их с компонентами окружающей среды снижает долговечность или за короткое время полностью выводит из строя многие металлические конструкции, контактирующие с газовой или жидкостной средой. Особую опасность это представляет для устройств гидротехнических сооружений, водоснабжения, систем отопления. Одной из важнейших задач по повышению надежности и долговечности теплотехнических сооружений является изучение характерных особенностей и причин коррозии в конкретных условиях их эксплуатации и организация мероприятий по предотвращению коррозии, а также устранение её последствий. Представленные результаты диагностического анализа необычного коррозионного разрушения значительного числа дымогарных труб нескольких водогрейных котлов, позволили определить сложное сплетение причин, вызвавших их электрохимическую коррозию, и разработать мероприятия по профилактической защите котлов от подобного их разрушения.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДА

Как известно [1], коррозия металлов происходит за счет образования оксидов и других соединений вследствие химического или электрохимического взаимодействия с внешней средой. Поэтому коррозию принято делить на две большие группы: химическую и электрохимическую.

Произвольное взаимодействие металла с окислительным компонентом внешней среды, происходящее в одном акте и не зависящее от его потенциала, представляет собой **химическую коррозию**. При химической коррозии происходит разрыв металлической связи атомов металла, и соединение этих атомов химической связью с атомами, которые входят в состав окислителей, отнимающих валентные электроны металла. Химическая коррозия возможна в любой коррозионной среде, но чаще, если коррозионная среда не является электролитом. К этой группе относятся газовая, высокотемпературная коррозия при отсутствии электролитов на поверхности металла, коррозия в жидких электропроводных средах.

Процессы коррозии в водных растворах солей, кислот и щелочей, в воздушной атмосфере и других газах, содержащих влагу, имеют электрохимическую природу [16]. Все перечисленные среды представляют собой ионные проводники электрического тока – электролиты. Процесс самопроизвольного взаимодействия металла с электролитом, при котором происходит растворение металла и в электролит переходят положительно заряженные ионы, заряжая его положительно, а металл при этом заряжается отрицательно, **называется электрохимической коррозией** [4]. По этому признаку корродируют большинство металлоконструкций.

Способность металлов к коррозии или их устойчивость против коррозии определяется электронным строением атомов, числом валентных электронов во внешней электронной оболочке, прочностью связи этих электронов с атомным ядром.

окружающей средой и оценивается величиной электродного потенциала. По потенциалам двух металлов, соединенных в электролите, определяется, какой из металлов будет корродировать, т.е. разрушаться, и он является анодом, замедляя коррозию другого.

Склонность металла к электрохимической коррозии определяется тем, с какой легкостью он отдает электроны при взаимодействии с

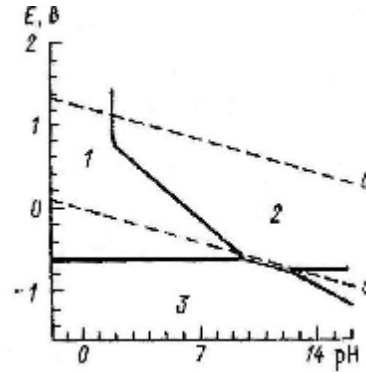


Рис.1. Диаграмма Пурбэ для железа:
1 – зона коррозии; 2 – зона пассивности; 3 – зона иммунитета

Fig.1. Diagram of Пурбэ for iron:
1 - is a zone of corrosion; 2 - is a zone of passivity; 3 - is a zone of immunity.

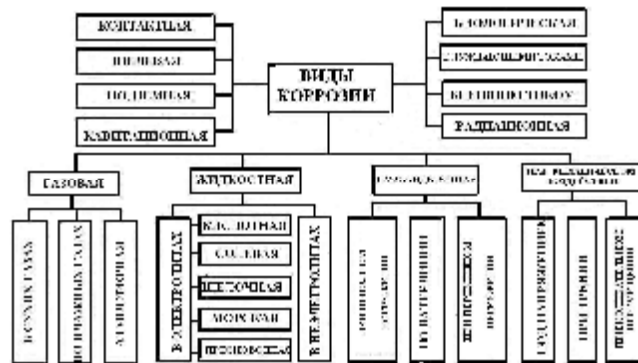


Рис.2. Классификация видов коррозии
Fig.2. Classification of types of corrosion

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ КОРРОЗИИ ДЫМОГАРНЫХ ТРУБ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ

В такой паре [3] анод-металл с более отрицательным потенциалом, а катод – металл с более положительным. Основой электрохимической коррозии металлов является процесс образования и работы гальванических пар [1].

Поскольку структура металлических сплавов неоднородна и кристаллы различаются электродными потенциалами, то между кристаллами в электропроводной жидкости возникают микрогальванические пары, разрушающие этот сплав. На принципе образования гальванической пары основана и электрохимическая защита металлических конструкций от коррозии – это протекторная защита [5], при которой в электролите создается гальваническая пара из металла защищаемого изделия (катод) и контактирующего с ним протектора – из другого металла, с более отрицательным потенциалом (анод). Интенсивное разрушение анода защищает от коррозии основное изделие. В электропроводной воде, как морская, принимается отношение поверхности протектора к поверхности основной конструкции в пределах от 1/200 к 1/1000.

Условия электрохимического равновесия между металлами и продуктами их окисления в координатах «потенциал – рН» приводятся на диаграммах Пурбэ [6]. Диаграмма Пурбэ для железа показана на рис. 1

На диаграмме Пурбэ для железа зона иммунитета 3 означает термодинамическую невозможность протекания процесса коррозии. В зоне 2 наблюдается уменьшение скорости коррозии металла за счет образования на его поверхности фазовых или адсорбционных слоев, например оксидов, которые вызывают торможение анодной реакции ионизации металла.

На коррозионные процессы влияет большое количество факторов, поэтому и сама коррозия не может быть однообразной. Классификация видов коррозии приведена на рис. 2 [16].

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА, ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучением особенностей коррозионного разрушения вырезок стальных дымогарных труб водогрейных двухходовых кожухотрубных котлов фирмы «Riello», эксплуатируемых в одной из котельных в г. Симферополе установлено

преобладание в их нижней части точечной коррозии по всей длине труб, а по дорожке верхней образующей этих же труб – избирательной язвенной коррозии и, местами, сквозной. Это указывает на закономерно повторяющийся коррозионный процесс, которому подвержены, примерно в одинаковой мере, все трубы котла, и в тоже время, не одного, а нескольких котлов, установленных в указанной котельной. Системность множества повторяющихся однотипных картин разрушения труб, а не разнообразие, которое бы свидетельствовало о случайном характере причин коррозии, указывает на необычность и стабильность действия одной или нескольких причин такого разрушения.

С целью разработки мер предупреждения массового коррозионного разрушения труб котлов, определена необходимость последовательного решения ряда задач, первостепенная из которых состоит в выяснении механизма необычных коррозионных образований такого расположения и закономерности этого процесса. Это основное условие решения последующих задач, таких как выявление вероятной совокупности факторов, порождающих установленный процесс коррозии, и разработка мероприятий по предотвращению коррозии устранением её причин.

В данном случае целесообразно изучить и систематизировать в рассматриваемых трубах котлов наличие преобладающих признаков химической или электрохимической коррозии стали и установить, в результате какой закономерности процесса оказалась одинаковой картина разрушения труб нескольких котлов.

Химической коррозии мог способствовать состав жидкости [5] с растворенными в ней солями, кислотами, щелочами. С другой стороны, коррозии мог способствовать, и химический состав стали с повышенным содержанием серы. При однородном составе жидкости или металла возникает равномерная коррозия, покрывающая поверхность изделия [9]. В наблюдаемом случае, коррозия явно неравномерна.

При химической коррозии неравномерность, избирательность глубокого язвенного поражения стенок труб только на верхней и нижней их образующих могла произойти вследствие расслоения неоднородной химически агрессивной жидкости [15]. Поскольку, как указано выше, следы коррозии расположены в основном вдоль линии

нижней и верхней образующих каждой трубы, то это могло произойти в том случае, когда неоднородность расположения агрессивных составляющих жидкости подчинялась бы именно такой упорядоченной закономерности. Но этот фактор исключается, не только по своей невероятности, а и потому, что холодная вода, которую закачивали в котлы, подвергалась предварительной фильтрации, обработке и химическому анализу Агрессивных компонентов в ней не обнаружилось. Другой фактор - это некачественная сталь труб, содержащая высокое количество серы, неравномерно расположенной в поперечном сечении трубы. Вероятность такой именно системной неравномерности – тоже несостоятельна, т.к. результаты химического анализа показали, что сталь труб полностью соответствует регламентированной техническими условиями стали 20, многократно проверенной в работающих котлах. В соответствии с действующим стандартом, в составе качественной углеродистой стали 20, содержится углерода от 0,18% до 0,22%, допускаемое содержание серы от 0,03% до 0,035%, в тех же пределах и содержание фосфора [10]. При таком химическом составе стали 20, как показывает практика, избирательная химическая коррозия не возникает. Если же содержание серы в стали превышает 0,05%, и она неравномерно расположена, то возможна язвенная коррозия.

По имеющимся данным, характеризующим однотипность коррозионного разъедания большого количества труб нескольких котлов, с большой вероятностью следует, что это электрохимическая коррозия и возникла она в результате воздействия электрического тока, протекающего по трубам и по электропроводной воде котлов.

Электрический ток может попасть в нагреваемые трубы и воду котла через замкнутую систему трубопроводов от заземленных электродвигателей, сварочных агрегатов и иных устройств, имеющих электропроводный контакт со всей системой отопления и водоснабжения. Учитывая, что указанная коррозия труб возникла только в период текущего отопительного сезона, то этот источник электрического тока, вызывающий коррозию, возник недавно.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Целесообразно рассмотреть факторы, определяющие особенности образования и протекания электрохимической коррозии труб.

Холодная вода, попадая в межтрубное пространство котла, уже заполненного горячей водой, сразу опускается вниз. Эта вода является ионным поляризованным проводником (электролитом) электрического тока, идущего от источника по подводящей и отводящей трубе, по всему объему котла. Взаимодействие холодного электролита с разогретыми трубами начинается в нижней их части (в катодной области «-»), откуда в трубу ВХОДИТ электрический ток. В местах входа электрического тока в металл и выхода тока в электролит протекают электрохимические реакции электролиза с выделением кислорода и разрушением (растворением) металла. В этой нижней катодной области электролиз образует точечные каверны в стали труб [5]. Электрический ток ВЫХОДИТ из трубы через верхнюю область (анодную «+»), с образованием электрических полей в виде замкнутых силовых линий вокруг этого трубчатого проводника. Именно в местах ВЫХОДА электрического тока из металла труб в электролит металл разрушается особенно сильно – иногда с образованием сквозных отверстий [8]. Такая коррозия подобна известной электрохимической коррозии, протекающей под воздействием блуждающих токов во влажной земле, где расположена конструкция. Но в рассматриваемом случае коррозия отличается упорядоченным расположением в верхней и нижней части труб) прокорродировавших участков.

Рассмотренный процесс коррозии в трубах котлов протекал интенсивно, образовав за полгода отверстия в стенках толщиной до 3мм. Этому способствовали такие объективные факторы, как [9]:

-поляризация металла труб от внешнего постоянного или переменного источника электрического тока, образовавшего язвы в местах стекания его (анод) в электролит;

-высокая температура металла труб, нагретых до 90...100 градусов С⁰ и нагрев этими трубами электролита с возрастанием его электропроводности и скорости диффузии окислителя к поверхности стали, такой нагрев электролита увеличивает скорость электрохимического процесса в десятки раз;

-движение электролита относительно поверхности труб облегчало диффузию кислорода – окислителя к поверхности стали;

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ КОРРОЗИИ ДЫМОГАРНЫХ ТРУБ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ

-давление жидкости в котле до 4 кгс/см² повысило растворимость газов и гидролиз солей, а также вызвало определенные механические напряжения в стали труб, что в совокупности тоже интенсифицировало электрохимическое взаимодействие стали с электролитом;

-наличие ионов хлора в воде также ускорило электрохимический процесс.

Таким образом, толчком к активизации указанных факторов в электрохимической коррозии труб, омываемых водой, послужило воздействие попадающего в котел электрического тока.

Для уточнения обстоятельств, вызывающих электрохимическую коррозию труб котлов, необходимо на тепловой станции выполнить следующие мероприятия:

Выяснить, существует ли на тепловой станции единый контур заземления оборудования или несколько автономных контуров. Не выходит ли провод или полосовая шина контура зацепления за пределы территории хозяйства, к которым могут подключить (заземлить) электрооборудование с вероятной утечкой электрического тока.

Проверить надежность заземления на соответствие его установленным нормам, которое должно быть менее 4 Ом.

Проверить электросопротивление изоляции всех электродвигателей, сварочных агрегатов и другого оборудования хозяйства, которое заземлено постоянно или заземляют периодически. Это необходимо для выявления вероятной утечки электрического тока в заземление, к которому подключены и котлы.

Проверить надежность заземления котлов и заземление электродвигателей системы подачи газа, установленных на котлах.

Проверить заземлены ли трубопроводы подачи воды в котлы и трубопроводы, отводящие нагретую воду. Они должны быть надежно заземлены.

Проверить в разное время суток разность потенциалов:

- на соединительных фланцах между трубопроводами подачи и отвода воды;

- между заземлением и каждым из этих фланцев трубопроводов;

С привлечением службы энергонадзора выяснить возможный факт нелегального использования электроэнергии, при котором нелегальный потребитель подключает оборудование к фазовому проводу электросети, а вместо нулевого использует трубопровод системы отопления или водоснабжения, который заземлен через котлы.

Электрический ток при этом от неизвестного источника может попадать к котлам по трубопроводам подачи и отбора воды и по электропроводной воде.

ВЫВОДЫ

1. Изученное разрушение дымогарных труб водогрейных котлов с выходом их из строя в результате образования в стенках труб глубоких коррозионных раковин и сквозных отверстий произошло вследствие электрохимической коррозии под воздействием электрического тока, который попадал к трубам котлов.

2. Процесс коррозии труб протекал очень интенсивно – за один отопительный сезон на указанной котельной города водогрейные котлы вышли из строя. На других котельных г. Симферополя такие же котлы фирмы «Riello» работают уже несколько лет без признаков течи в трубах.

3. В воде, поступающей в котлы для нагрева, не обнаружены химически агрессивные составляющие, вызывающие коррозионное разрушение стали. Химический состав стали труб, полностью соответствует стали 20, которая используется во всех котлах указанной фирмы и не содержит в себе включений, вызывающих коррозию.

4. Помимо основной причины возникновения электрохимической коррозии в стенках стальных труб, этому процессу несколько способствовали повышенная электропроводность нагретой воды, движение этой воды, давление в котле. Таким образом, толчком к активизации указанных факторов в электрохимическом взаимодействии стальных труб с омываемой их водой, послужило воздействие попадающего в котлы электрического тока.

5. Если намеченными проверками не удастся обнаружить, откуда электрический ток поступает к котлам и вызывает их электрохимическое коррозионное разрушение, то необходимо устранить все вероятные пути попадания электрического тока к котлам. Для этого необходимо выполнить комплекс следующих мероприятий:

5.1. Отсоединить котлы от действующего контура заземления, к которому могут быть присоединены другие устройства с утечкой электрического тока, попадающего к котлам.

5.2. Электроизолировать котлы от установленных на их корпусах электродвигателей системы подачи газа, оставив сами электродвигатели заземленными на общий контур. Это исключит попадание к котлам электрического тока возможных утечек от общего контура заземления.

5.3. Электроизолировать котлы от трубопроводов подачи холодной воды в них и отведения горячей воды. Для этого во фланцевых соединениях трубопроводов с патрубками котлов разместить между фланцами электроизолирующие прокладки, а соединительные болты электроизолировать надетыми на них пластиковыми трубками и шайбами под гайки и головки болтов.

5.4. Исключить попадание в котлы электрического тока с закачиваемой и отбираемой водой. Для этого изготовить электро-дренажные устройства для холодной и горячей воды, разместить их в принимающем и отводящем трубопроводе котлов между фланцевыми соединениями, заземлить их к автономным заземлениям многожильным проводом высокой электропроводности диаметром более 6 мм. В этих решетчато-пластинчатых электро-дренажных устройствах из алюминиевого сплава с высоким значением электроотрицательного электродного потенциала (-1,660) вода будет отдавать электрический ток пластинчатым перегородкам, соединенным с обечайкой. От дренажа по заземляющему проводу ток будет уходить в автономное заземление, изготовленное из магниевого сплава с аналогично высоким электроотрицательным электродным потенциалом. Такое дренажное устройство и заземление обеспечат достаточно надежную протекторную защиту труб котлов от электрохимической коррозии, которая происходила при воздействии электрического тока. Протекторная защита каждого котла от коррозии включает в себя два элемента – это заземлители и соединенные с ними дренажные устройства. Дренажное устройство необходимо изготовить из алюминиевого сплава, легированного цинком в количестве 5%. Для этого использовать лист толщиной от 1,5 мм до 2 мм. Соединения пластинчатых перегородок в обечайке и присоединения фланцев к обечайке – для закрепления устройства в трубопроводе, выполнить аргоно-дуговой электросваркой. Для каждого котла необходимо изготовить по два дренажных устройства, которые нужно закрепить во фланцевых соединениях патрубков котлов с трубопроводами подачи и отбора воды.

5.5. Выполнить два автономных двухфункциональных заземления из магниевого сплава, соединив с ними электро-дренажные устройства для воды и фланцы патрубков котлов (т.е. котлы) [11].

Заземлитель выполняет две функции: протекторную защиту котлов от коррозии, являясь жертвенным анодом и индивидуальное заземление, как таковое, используемое только для котлов. Для такой электрохимической защиты труб котлов он должен быть изготовлен из металла тоже с высоким электроотрицательным электродным потенциалом. Для этого рекомендуется сплав магния с 6% алюминия, 3% цинка и 0,2% марганца. Эти элементы повышают долговечность заземлителя. Электроотрицательный потенциал такого сплава большой и составляет -2,370, что значительно усиливает эффективность [12] защиты от электрохимической коррозии. Указанные сплавы используются в системах протекторной и катодной защиты, газовых, водопроводных и тепловых сетей, других подземных конструкций, а также для защиты стальных корпусов морских судов. Должно быть выполнено два автономных заземления с такими заземлителями. Располагать заземлители необходимо на глубине от 2 м до 3,5 м; на расстоянии от защищаемого объекта – от 3 м до 6 м, расстояние же между автономными заземлителями 5-6 м. Эти расстояния зависят от влажности и электропроводности грунта. При устройстве заземлений для ответственных объектов с целью обеспечения надежного и длительного электрического контакта металла заземлителя с землей, в ряде случаев заливают их соленой водой, используя 5-6 кг соли на 40-50 литров воды. К заземлителям должны быть приклепаны или приварены шины-полосы с выходом из земли; к концам этих шин, находящимся на воздухе, присоединять клеммы проводов от заземляемого объекта. Оба заземления предназначены для защиты от коррозии двух или трех котлов, при этом необходимо СТРОГО разделить функции этих одинаковых заземлений, пронумерованных двумя порядковыми номерами: к заземлению №1 присоединить дренажи и фланцы патрубков, **подающих** воду в котлы, а к заземлению №2 присоединить дренажи и фланцы патрубков, **отводящих** воду из котлов.

Особое внимание необходимо обратить на то, что протекторные заземления должны быть соединены с дренажами и фланцами патрубков именно котлов, а

не с фланцами магистральных трубопроводов, которые должны быть отделены от них электроизоляционными прокладками. Сами же трубопроводы должны быть заземлены на общепользуемом контуре заземления [4]. Дренажные устройства, встроенные в линии подачи и отвода воды и жертвенный анод из магниевой сплава, находящийся в грунте в качестве заземлителя, защищают трубы котла от электрохимической коррозии, а сами в процессе работы котлов растворяются вместо этих труб. При значительном растворении дренажа и заземлителя снижается эффективность этих устройств и их необходимо обновлять через несколько лет. Срок их службы зависит от напряжения и продолжительности протекания электрического тока, провоцирующего коррозию, от электропроводности воды, от химических и электрофизических характеристик грунта, а также от сочетания рассмотренных выше факторов интенсифицирующих электрохимический процесс. Экономически выгоднее через каждые 3-4 года обновлять дренажи и заземление, чем через каждый год ремонтировать котлы, пораженные коррозией. А самое эффективное – это устранить первопричину попадания электрического тока к котлам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Н.Н., 1984. Теория и методика расчета систем подачи и распределения воды. // Москва. – Стройиздат. – 283.
2. Алексеев М.И., 1990. Городские инженерные сети. // Ленинград.- Стройиздат. – 384.
3. Антропов Л.И., 1994. Теоретическая электрохимия. // М.: Высшая школа. – 230.
4. Беркман Я.И., 1987. Справочник инженера – сантехника. // Киев.: Будівельник.- 477.
5. Глазков В.И., Зиневич А.М., Котик В.Г., 1969. Защита от коррозии протяженных металлических сооружений. //М.:издательство «Недра». -311.
6. Григорьев В.П., 2000. Электрохимическая коррозия металлов. // Ростов-на-Дону.: Ростовский госуниверситет. Образовательный журнал, Том 6, №9, 61-72.
7. Зайченко Л., Нездойминов В., Задорожная Е., 2012. Проблемы централизованного и муниципального водоснабжения в Донецком регионе.// MOTROL. Vol. 14, №6, 57-62.
8. Колотыркин Я.М., 1985. Металл и коррозия. – М.: Металлургия. – 88.
9. Корохов В.Г., Лавринев П.Г., 2007. Предпосылки непрогнозируемого внезапного разрушения конструкций. // Строительство и техногенная безопасность. - №19-20, 68-71.
10. Митрофанов В.А., Бордюг А.А., 2004. Характерные коррозионные повреждения морских сооружений на континентальном шельфе. // Строительство и техногенная безопасность. - №9, 69-75.
11. Мурадов А.В., 2002. Защита от коррозии объектов нефтегазового комплекса. //Р.: Газовая промышленность. - №2, 100-116.
12. Орловская Е.В., Чак Н.А., 2005. Микробиологическая и химическая коррозия бетонов, в том числе модифицированных серой. // Строительство 12, 109-115.
13. Салиев Э., Степанцова Н., 2012. Анализ износа инженерных сетей водоснабжения и водоотведения г. Красноперекоска. // MOTROL. Vol. 14, №6. 251-258.
14. Субботкин Л., Копачевский А., Денисова А., 2012. Исследование процессов физико-химической очистки сточных вод молочных заводов. // MOTROL. Vol. 14, №6, 183-188.
15. Томашов Н.Д., Чернова Г.П., 1986. Теория коррозии и коррозионностойкие конструкционные сплавы. - М.: Металлургия. – 359.
16. Улиг Г.Г., Ревя Р.О. Коррозия и борьба с ней: Введение в коррозионную науку и технику. Л. – Химия. – 456.
17. Фокин Г.С., 1994. Коррозия и защита от коррозии. // М.: Энциклопедия международных стандартов. – 310.
18. Шабалин А.Ф., 1963. Эксплуатация промышленных водопроводов. – М.: Госстройиздат. – 448.

ABOUT FEATURES OF CORROSION OF FIRE-TUBE PIPES HOT-WATER BOILERS AND TO THEIR DEFENCE

Summary. The most characteristic types of corrosion became - it chemical and electrochemical. Recognition of taking place process of corrosion of destruction of steel elements of constructions, allows to carry out defence their way of increase of chemical resistance of construction materials, isolations of surface of metals from an aggressive environment, lowering of aggressiveness of the processed material or influence of electric current. The results of diagnostic analysis of unusual corrosive destruction of good few of fire-tube pipes of a few hot-water boilers, that allowed to define reasons causing their electrochemical corrosion and to work out measures on the prophylactic protecting of caldrons from their similar destruction, are presented.

Key words: caldrons hot-water, metal, corrosion, chemical, electrochemical, destructions.

