**Материаловедение котлов**

1. Классификация сталей применяемых в котлостроении

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| По применению | По химическому составу | По структуре | По технологии производства |
| 1. Строительная сталь – для металлоконструкций и сосудов низкого давления | 1. Углеродистая (мало-, средне- и высокоуглеродистая) | 1. Перлитная, имеющая после нормализации структуру: - перлит; - перлит+ феррит; - перлит +эвтектоидный карбид | 1. Обыкновенного качества, выплавляемая в мартеновской печи или конверторе с повышенным содержанием серы, фосфора, неметаллических включений |
| 2. Конструкционная (машиностроительная) – для всех элементов парового котла | 2. Легированная (низко, средне- и высоколегированная | 2. Мартенситная, имеющая после охлаждения на воздухе мартенситную структуру | 2. Качественная углеродистая или легированная, выплавляемая в мартеновских печах при строгом соблюдении режимов плавки, с меньшим содержанием серы, фосфора и неметаллических включений  |
| 3. Инструментальная – для инструмента и оснастки |  | 3.Аустенитная, в которой под влиянием легирующих элементов фиксируется аустенит | 3. Высококачественная углеродистая или легированная, выплавляемая в электрических или кислых мартеновских печах, с незначительным содержанием серы, фосфора и неметаллических включений (0,020 … 0,035)  |
|  |  | 4. Ферритная, имеющая после нормализации структуру: - феррит; - феррит + карбид  | 4. Особовысококачественная легированная, выплавляемая в электрических печах, в вакууме совершенными способами электроплавки, с минимальным содержанием вредных примесей  |
|  |  | 5. Карбидная с высоким содержанием углерода и карбидообразующих элементов |  |

Все материалы по химической основе делятся на две основные группы – металлические и неметаллические. К металлическим относятся металлы и их сплавы. Металлы составляют более 2/3 всех известных химических элементов.

В свою очередь, металлические материалы делятся на черные и цветные. К черным относятся железо и сплавы на его основе – стали и чугуны. Все остальные металлы относятся к цветным. Чистые металлы обладают низкими механическими свойствами по сравнению со сплавами и поэтому их применение ограничивается теми случаями, когда необходимо использовать их специальные свойства (например, магнитные или электрические).

2. Свойства металлов.

Условия работы металла в паровых котлах отличаются большим разнообразием: температура изменяется от комнатной до 1000°С и более, давление - от атмосферного до 35 МПа, активность рабочей среды - от нейтральной до химически активной.

В наиболее простых условиях работает металл каркаса котла, его обшивка - при атмосферном давлении, температуре, незначительно превышающей комнатную, среда - воздух. Элементы воздухоподогревателя (трубы, трубные доски, уплотнения, крепление) также работают при давлении, близком к атмосферному, но температура значительно выше. С учетом большого расхода металла на изготовление воздухоподогревателей и низких нагрузок (тепловых и механических) для их изготовления используется дешевая углеродистая сталь. В некоторых случаях приходится ограничивать температуру горячего воздуха и дымовых газов таким образом, чтобы температура металла не превышала допустимой для углеродистой стали. Металл воздухоподогревателя подвергается воздействию сернокислотной коррозии и абразивному износу летучей золой при сжигании твердого топлива. В условиях высоких температур (1000°С и более) и интенсивной коррозии работают неохлаждаемые стойки и подвески труб, их крепежные элементы, детали горелок.

К другой группе элементов конструкции парового котла относятся поверхности нагрева, включающие обогреваемые трубы и коллекторы, трубопроводы между поверхностями нагрева, барабан, работающие под воздействием не только высокой температуры, но и высокого внутреннего давления рабочей среды. Кроме того, поверхности нагрева подвергаются коррозии с газовой стороны и со стороны водного теплоносителя, абразивному износу летучей золой. Конкретные условия работы металла поверхностей нагрева существенно различаются и для их выполнения необходимо использовать металл соответствующего качества.

Работоспособность металла определяется комплексом его механических, технологических и приданных ему специальных свойств. Специальные свойства металла обеспечивают его рабочее состояние в особо напряженных условиях. Так, для поверхностей нагрева паровых котлов, работающих при высоких температурах, важное значение имеют жаропрочность и окалиностойкость металла.

Жаропрочность - способность материала выдерживать механические нагрузки без существенной деформации и разрушения при повышенных температурах. 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.

Жаростойкость (окалиностойкость) - способность материала противостоять химическому разрушению поверхности под воздействием окислительной газовой среды при высоких температурах. Критерием окалиностойкости служит удельная потеря массы при окислении металла за определенный период времени.

Для каждой стали, используемой в паровых котлах, устанавливается предельная температура наружной поверхности по жаропрочности и окалинообразованию, превышение которой приводит к интенсивной коррозии стали в газовой среде и изменению структуры металла с резким ухудшением его механических свойств.

Коррозия металла поверхностей нагрева парового котла с внешней (газовой) и внутренней (водопаровой) стороны снижает прочностные характеристики металла элементов конструкции котла и для достижения надежной службы этих элементов необходимо использовать металл соответствующего качества.

Перечень марок сталей, используемых в паровых котлах, предельно допустимая температура наружной поверхности металла tпр, °С, по жаропрочности, высокотемпературной наружной коррозии и окалинообразованию представлены

При тепловом расчете парового котла предварительно выбираются марка стали, диаметр и толщина стенки труб.

После теплового расчета проводится расчет элементов котла на прочность, в результате которого могут быть определены (в зависимости от целей расчета)

- толщина стенки (трубы, коллектора, барабана) S, м, сравнивается с предварительно принятой толщиной Sпр, м (S ≥ Sпр),

- приведенное напряжение от внутреннего давления σпр, Па, не должно превышать номинальное допустимое напряжение [σ], Па;

- допустимое рабочее давление рдоп, Па, должно быть больше действительного рабочего давления р, Па;

- температура наружной поверхности стенки tСТНАР, °С, должна быть ниже предельно допустимой температуры tпр .

3. Коррозия металлов.

Условия, в которых находятся элементы паровых котлов во время эксплуатации, чрезвычайно разнообразны.

Как показали многочисленные коррозионные испытания и промышленные наблюдения, низколегированные и даже аустенитные стали при эксплуатации котлов могут подвергаться интенсивной коррозии.

Коррозия металла поверхностей нагрева паровых котлов вызывает его преждевременный износ, а иногда приводит к серьезным неполадкам и авариям.

Большинство аварийных остановов котлов приходится на сквозные коррозионные поражения экранных, экономайзерных, пароперегревательных труб и барабанов котлов. Появление даже одного коррозионного свища у прямоточного котла приводит к останову всего блока, что связано с недовыработкой электроэнергии. Коррозия барабанных котлов высокого и сверхвысокого давления стала основной причиной отказов в работе ТЭЦ. 90 % отказов в работе из-за коррозионных повреждений произошло на барабанных котлах давлением 15,5 МПа. Значительное количество коррозионных повреждений экранных труб солевых отсеков было в'зонах максимальных тепловых нагрузок.

По условиям протекания коррозионного процесса различают атмосферную коррозию, протекающую под действием атмосферных, а также влажных газов; газовую, обусловленную взаимодействием металла с различными газами — кислородом, хлором и т. д. — при высоких температурах, и коррозию в электролитах, в большинстве случаев протекающую в водных растворах.

По характеру коррозионных процессов котельный металл может подвергаться химической и электрохимической коррозии, а также их совместному воздействию.

При эксплуатации поверхностей нагрева паровых котлов встречается высокотемпературная газовая коррозия в окислительной и восстановительной атмосферах топочных газов и низкотемпературная электрохимическая коррозия хвостовых поверхностей нагрева.

Высокотемпературная газовая или сульфидная коррозия в окислительной атмосфере топочных газов поражает трубы ширмовых и конвективных перегревателей, первые ряды кипятильных пучков, металл дистанционирующих проставок между трубами, стойки и подвески.

Высокотемпературная газовая коррозия в восстановит тельной атмосфере наблюдалась на экранных трубах топочных камер ряда котлов высокого и сверхкритического давления.

Коррозия труб поверхностей нагрева с газовой стороны представляет сложный физико-химический процесс взаимодействия топочных газов и наружных отложений с окисны - ми пленками и металлом труб. На развитие этого процесса оказывают влияние изменяющиеся во времени интенсивные тепловые потоки и высокие механические напряжения, возникающие от внутреннего давления и самокомпенсации.

На котлах среднего и низкого давления ' температура стенки экранов, определяемая температурой кипения воды, ниже, и поэтому этот вид разрушения металла не наблюдается.

Коррозия поверхностей нагрева со стороны дымовых газов (внешняя коррозия) есть процесс разрушения металла в результате взаимодействия с продуктами сгорания, агрессивными газами, растворами и расплавами минеральных соединений.

Под коррозией металла понимают постепенное разрушение металла, происходящее вследствие химического или электрохимического воздействия внешней среды.

Процессы разрушения металла, являющиеся следствием их непосредственного химического взаимодействия с окружающей средой, относятся к химической коррозии.

Химическая коррозия происходит при контакте металла с перегретым паром и сухими газами. Химическую коррозию в сухих газах называют газовой коррозией.

В топке и газоходах котла газовая коррозия наружной поверхности труб и стоек пароперегревателей происходит под воздействием кислорода, углекислого газа, водяных паров, сернистого и других газов; внутренней поверхности труб — в результате взаимодействия с паром или водой.

Электрохимическая коррозия в отличие от химической характеризуется тем, что протекающие при ней реакции сопровождаются возникновением электрического тока.

Переносчиком электричества в растворах служат ионы, присутствующие в них из-за диссоциации молекул, а в металлах — свободные электроны:

Внутрикотловая поверхность подвержена в основном электрохимической коррозии. По современным представлениям ее проявление обусловлено двумя самостоятельными процессами: анодным, при котором ионы металла переходят в раствор в виде гидратироваиных ионов, и катодным, при котором происходит ассимиляция избыточных электронов деполяризаторами. Деполяризаторами могут быть атомы, ионы, молекулы, которые при этом восстанавливаются.

По внешним признакам различают сплошную (общую) и местную (локальную) формы коррозионных разрушений.

При общей коррозии вся соприкасающаяся поверхность нагрева с агрессивной средой подвергается разъеданию, равномерно утоняясь с внутренней или наружной стороны. При локальной коррозии разрушение происходит на отдельных участках поверхности, остальная поверхность металла не затрагивается повреждениями.

К местной локальной относят коррозию пятнами, язвенную, точечную, межкристаллитную, коррозионное растрескивание, коррозионную усталость металла.

Язвенная коррозия протекает интенсивно на отдельных небольших участках поверхности, но часто на значительную глубину. При диаметре язвин порядка 0,2—1 мм ее называют точечной. В местах, где образуются язвины, со временем могут образоваться свищи. Язвины часто заполняются продуктами коррозии, вследствие чего не всегда их удается обнаружить. Примером может служить разрушение труб стального экономайзера при плохой деаэрации питательной воды и низких скоростях движения воды в трубах.

Несмотря на то что поражена значительная часть металла труб, из-за сквозных свищей приходится полностью заменять змеевики экономайзера.

Металл паровых котлов подвергается следующим опасным видам коррозии: кислородной коррозии во время работы котлов и нахождения их в ремонте; межкристаллит - ной коррозии в местах упаривания котловой воды; пароводяной коррозии; коррозионному растрескиванию элементов котлов, изготовленных из аустенитных сталей; подшламо - вой коррозии. Краткая характеристика указанных видов коррозии металла котлов приведена в табл. ЮЛ.

В процессе работы котлов различают коррозию металла — коррозию под нагрузкой и стояночную коррозию.

Коррозии под нагрузкой наиболее подвержены обогре-. ваемые котельные элементы, контактирующие с двухфазной средой, т. е. экранные и кипятильные трубы. Внутренняя поверхность экономайзеров и перегревателей при работе котлов поражается коррозией меньше. Коррозия под нагрузкой протекает и в обескислороженной среде.

Стояночная коррозия проявляется в недренируемых. элементах вертикальных змеевиков перегревателей, провисших трубах горизонтальных змеевиков перегревателей