

КОНТРОЛЬ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ КОТЛОАГРЕГАТА ТП-42 РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫМ МЕТОДОМ

Поверхности нагрева котлоагрегата ТП-42 (Е-230-115Т) работают в условиях высоких температур и давлений, испытывают термоциклические нагрузки и механические напряжения. В наиболее сложных условиях работает металл пароперегревателя [1].

Пароперегреватель котла двухступенчатый, смешанный (противоток и прямоток). Радиационная часть пароперегревателя расположена на потолке топочной камеры. Пар проходит по двумстам шестнадцати трубкам диаметром 32×4 мм сталь 20 (рис. 1), затем поступает в первую ступень конвективного пароперегревателя (КПП) по ста восьми двойным змеевикам диаметром 42×5 мм сталь 15 ХМ. Ближняя к фронту часть наращена (355 м^2) из стали 12 ХМФ диаметром $42 \times 4,5$ мм.

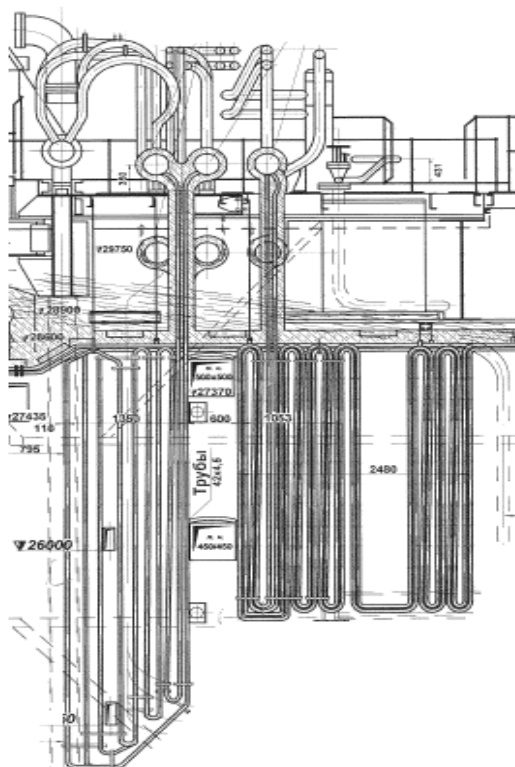


Рисунок - 1 Общий вид пароперегревателя

Переброс пара по ширине газохода осуществляется после пароохладителя. Пароперепускные трубы из барабана в радиационную часть – тридцать две штуки диаметром 60×5 мм, сталь 20. Пароперепускные трубы между первой и второй ступенью КПП – восемь штук диаметром 108×10 мм сталь 15ХМ.

Камеры пароперегревателя:

а) радиационная часть – диаметр 219×18 мм сталь 20;

б) паросборная камера и выходные камеры второй ступени КПП – 325×40мм сталь 12 ХМФ;

в) остальные диаметром 273×26 мм сталь 20.

Главный паропровод диаметр 273×28 мм, сталь 15ХМ. Тепловое расширение камер: средних – 15 мм, крайних – 12 мм.

Допускаемая температура нагрева металла:

а) для стали 20 = 500°C,

б) для стали 15ХМ = 550°C,

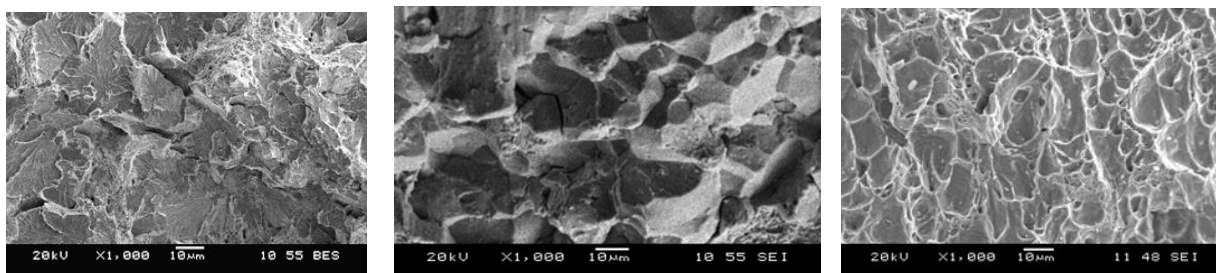
в) для стали 12ХМФ = 585°C.

Около 80% отказов парогенератора приходится на поверхности нагрева. Распределение отказов поверхностей нагрева показано на рис. 2. Доля отказов пароперегревателя составляет более 50% [2].

| Доля отказов, % | | | | | | | | | |
|-----------------|---------------------|-----------------|------------------------------|-----------------------|------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------|
| Экономайзера | Экранных труб и НРЧ | Переходной зоны | Первичного пароперегревателя | | | | Вторичного пароперегревателя | Не обогреваемых труб | Прочих элементов |
| | | | СРЧ | ВРЧ и потолочных труб | Ширм | Конвективной ступени | | | |
| 24,9 | 14,7 | 1,8 | 2,9 | 3,0 | 18,6 | 18,6 | 12,7 | 2,7 | 0,1 |

Рисунок – 2 Распределение отказов поверхностей нагрева парогенератора

Наиболее характерные эксплуатационные дефекты котельных труб, связанные с изменением структуры металла и ухудшением эксплуатационных характеристик, представлены на рис. 3 [3].



а)

б)

в)

Рисунок – 3 Строение изломов котельных труб, разрушающихся в различных эксплуатационных условиях:

а) термоусталость; б) ползучесть; в) кратковременный перегрев

Одной из причин повреждаемости поверхностей нагрева котлов является их длительный перегрев. Причиной разрыва труб при длительном перегреве является ползучесть металла, разрушение происходит с деформацией и плавным раскрытием. Разрушение начинается с наружной поверхности, трещины имеют межзеренный характер.

Причинами повреждаемости поверхностей нагрева котлов может быть также кратковременный перегрев. Характерными признаками перегрева являются большое раскрытие трещин и сильный изгиб трубы.

Низкая жаростойкость сталей приводит к разрушению поверхностей нагрева за счет утонения стенок труб, причем разрушение может носить как хрупкий, так и вязкий характер.

Низкая жаропрочность сталей также является одной из причин повреждаемости труб поверхностей нагрева. По внешнему виду такие повреждения характеризуются увеличением диаметра и продольным раскрытием трубы.

В процессе эксплуатации стали 12ХМФ длительностью до 100 тыс. ч при 510 – 570°C и расчетном напряжении 4,4—5,0 кгс/мм² происходит обеднение твердого раствора легирующими элементами [4]. Химический состав сталей пароперегревателя представлен в табл. 1.

Таблица – 1 Химический состав сталей

| Химический состав % стали 12ХМФ | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------|-----------|--------|----------|----------|---------|----------|----------|--------|
| C | Si | Mn | Ni | S | P | Cr | Mo | V | Cu |
| 0,08-0,15 | 0,17-0,37 | 0,4-0,7 | до 0,3 | до 0,025 | до 0,03 | 0,9-1,2 | 0,25-0,3 | 0,15-0,3 | до 0,2 |
| Химический состав % стали 15ХМ | | | | | | | | | |
| C | Si | Mn | Ni | S | P | Cr | Mo | Fe | Cu |
| 0,11-0,18 | 0,17-0,37 | 0,4-0,7 | до 0,3 | до 0,035 | до 0,035 | 0,8-1,1 | 0,4-0,55 | 96 | до 0,3 |
| Химический состав % стали 20 | | | | | | | | | |
| C | Si | Mn | Ni | S | P | Cr | Fe | As | Cu |
| 0,17-0,24 | 0,17-0,37 | 0,35-0,65 | до 0,3 | до 0,04 | до 0,035 | 0,25 | 98 | до 0,08 | до 0,3 |

После 50—70 тыс. ч работы общее содержание легирующих элементов не превышает: по хрому 25—30%; по молибдену 50—60%; по ванадию 60—70%. Снижение содержания легирующих элементов (хром, молибден) в котельных трубах ухудшает свойства сталей.

Контроль химического и марочного состава сталей пароперегревателя (без разрушения объекта контроля) на наличие легирующих элементов предлагается выполнить на основе спектрального анализа (рис. 4). Суть метода состоит в воздействии на металл импульсным рентгеновским излучением. Раскаленные пары каждого металла имеют свои вполне определенные линии в спектре, свойственные только одному этому металлу.

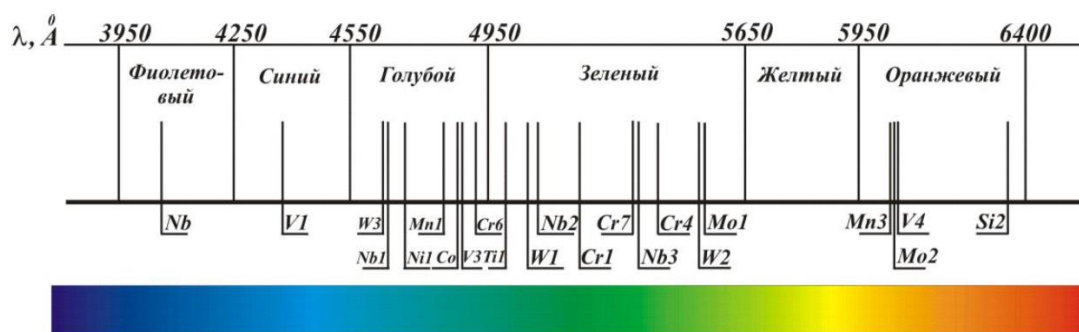


Рисунок – 4 Линии спектра металлов

Для определения остаточного ресурса металла пароперегревателя в процессе эксплуатации по изменению концентрации легирующих элементов стали 12ХМФ разработаны расчетные диаграммы (рис. 5).

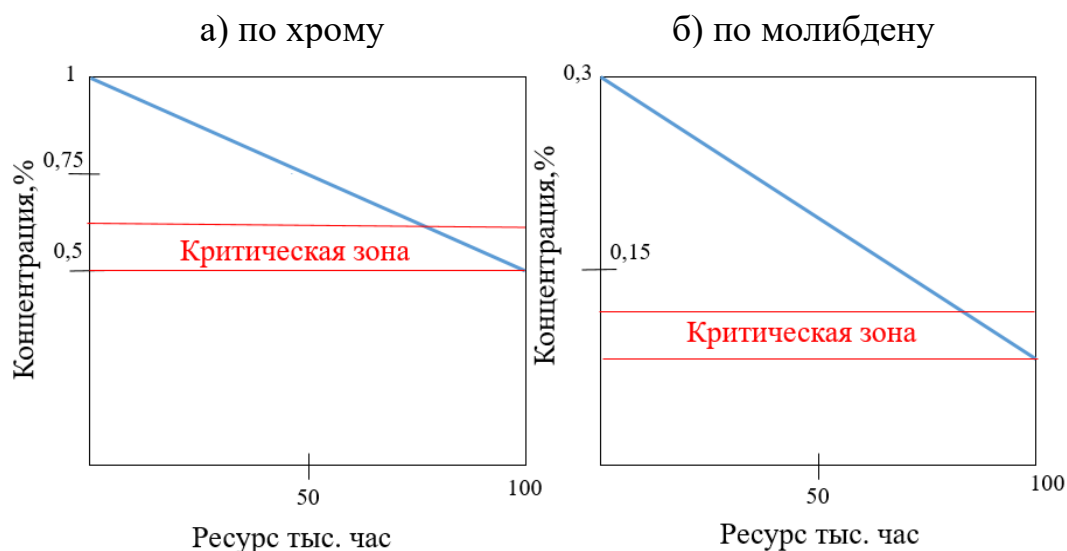


Рисунок – 5 Изменение концентрации легирующих элементов стали 12ХМФ в процессе эксплуатации

Реализация представленного метода контроля структуры металла возможна на основе применения радиационно-люминесцентного анализатора

Х-200 (Olympus, США), позволяющег за 10 мкс с точностью 0,01-0,50% выполнять структурный анализ металла по заданным элементам.

Список литературы:

1. Ковалев А.П., Лелеев Н.С., Виленский Т.В. Парогенераторы: учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1985.– 376 с.
2. Федорченко Г.С. и др. О надёжности работы пароперегревателей котлов с естественной циркуляцией./ Теплоэнергетика. №4. 1997. С.54 –57.
3. Матюнин В.М. Металловедение в теплоэнергетике: учебное пособие для вузов. – М.: МЭИ, 2008. – 328 с.
4. Антикайн П.А. Металловедение. – М.: Изд-во «Металлургия», 1972, - 256 с.