

и экологической чистоты находится на одном уровне с разработками таких производителей, как Alstom, Siemens, GE Energy, однако превосходит их по надёжности.

Реализация проекта позволит вывести из эксплуатации неэффективно функционирующую и изношенную не блочную часть Краснодарской ТЭЦ. Внедряемая технология позволяют обеспечить увеличение объемы и эффективность производства тепловой и электрической энергии и соответствуют экологическим стандартам, принятым в странах Евросоюза.

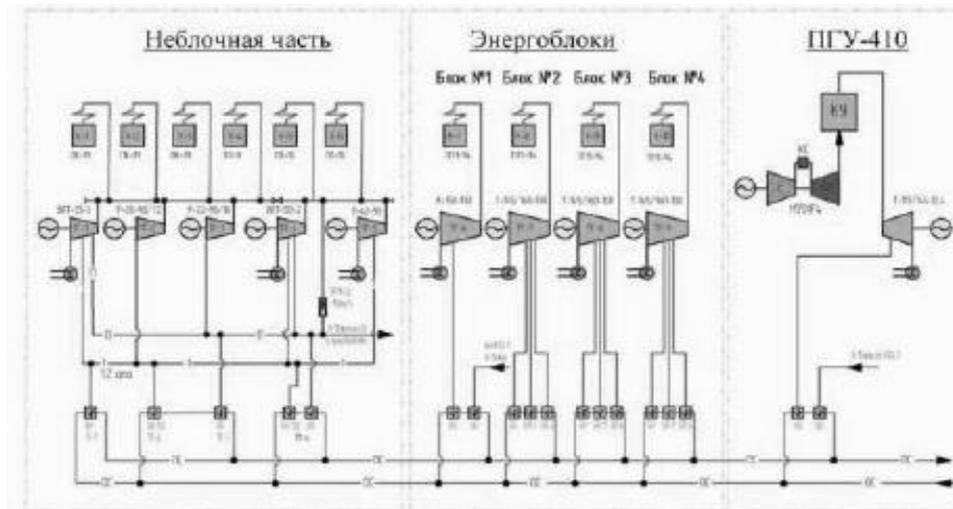


Рис. 1. Тепловая схема Краснодарской ТЭЦ после расширения

Отпуск электроэнергии потребителям от ПГУ-410 составит порядка 3 210 тыс. МВтч в год, теплоэнергии - 715 тыс. Гкал/год, удельный расход топлива на отпуск электроэнергии 204 г.у.т./кВтч, тепла - 121 кг.у.т./Гкал. Расчетный электрический КПД ПГУ при работе в конденсационном режиме составляет 57,4%.

Методологической основой исследования стали научные труды отечественных и зарубежных ученых в области парогазовых установок.

Список литературы:

1. Мошкарин А.В. Анализ направлений развития отечественной теплоэнергетики; / Иван. гос. энерг. ун-т им. В.И. Ленина. – Иваново: Иван. гос. энерг. ун-т, 2002.-256с.
2. Проектная документация. Расширение Краснодарской ТЭЦ с установкой ПГУ-410,000 «ЛУКОЙЛ-Кубаньэнерго». Инжиниринговая компания ОАО «СиСиДжиЭс» - Краснодар ,2011.-60с.

Рентгенофазовый анализ сварного узла пароперегревателя

Фисенко Р.Н., Бреус С.С., Рудаков Р.А., Кавун Д.А., Любимова Л.Л.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск

E-mail: breus-sergei@mail.ru

Введение. Сварные соединения (СС) наряду с гибами относятся к наиболее часто повреждаемым элементам паропроводов теплоэнергоустановок [1]. Поэтому исследования, направленные на обеспечение надёжной работы сварного узла, представляются особенно актуальными.

Среди всех методов, позволяющих изучать фазовый состав стальных изделий, метод рентгенофазового анализа (РФА) занимает особое место. Одной из основных задач, решаемых РФА, является исследование твёрдых растворов. При этом имеется возможность прямого измерения параметра элементарной ячейки кристаллического вещества (a , Å), чрезвычайно чувствительного к концентрации примесей, растворённых в данном веществе. Перераспределение примесей в процессе эксплуатации изделия вызывает изменение a , что закладывается в основу расчёта зональных напряжений (σ_z , МПа), так что кристаллическая решётка является своеобразным индикатором состояния стали и диагностическим признаком [2].

Постановка задачи проведения исследований.

Особый интерес с точки зрения обеспечения надёжности представляют композитные СС. Поэтому определение фазового состава такого рода СС (как в непосредственной близости, так и на некотором удалении от сварного шва) и оценка σ_I явились целью данной работы.

Методика эксперимента.

Поставленные задачи решались с применением метода РФА на рентгеновском дифрактометре ДРОН ($\lambda_{CuK\alpha}$; $\lambda_{cp} = 1,54178 \text{ \AA}$).

Объектом исследования являлся участок пароперегревателя энергетического парового котла, состоящий из сваренных (ручной электродуговой сваркой) между собой двух труб (каждая длиной 181,5...182 мм, диаметром 32 мм и толщиной стенки 5 мм). Поперечный сварной шов соединял два разнородных материала. Одна труба выполнена из перлитной стали 12Х1МФ, а другая – из аустенитной нержавеющей стали 12Х18Н9Т. Использование таких композитных СС в энергетике обусловлено как условиями работы (высокие температуры стенки трубы), так и экономическими соображениями.

Для исследований из различных участков трубы, находящихся как в сварном шве, так и на различном удалении от него, были вырезаны 16 образцов в плоскостях, параллельных оси трубы (рис. 1, 2).

Плоскость, ближайшая к оси трубы, принята за внутреннюю поверхность (рис. 1). Плоскость, расположенная на расстоянии 2,14 мм от наружной поверхности (почти в центре стенки трубы), названа наружной (рис. 1). Изготовленные образцы позволили исследовать 20 зон (рис. 2), в том числе: сварной шов, область около шва и зону термического влияния сварки (ЗТВ).

Концентрация каждой фазы в составе исследованных зон (C , %) оценивалась по интенсивности дифракционных максимумов. Параметр элементарной ячейки (a_i , \AA) определялся с использованием уравнения Вульфа-Брэггов по средней длине волны λ_{cp} . Зональные напряжения (σ_I , МПа) оценивались на основании закона Гука:

$$\sigma_I = \frac{\Delta a}{a} \cdot E = \frac{a_i - a_0}{a_0} \cdot E,$$

где E – модуль нормальной упругости, МПа [3]; a_i , a_0 – соответственно текущее значение параметра элементарной ячейки и значение параметра элементарной ячейки эталона, \AA .

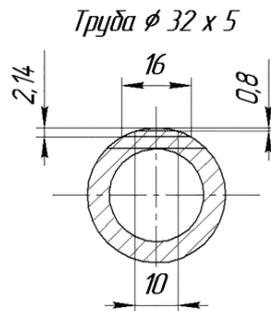


Рис. 1. Разрез трубы с указанием плоскостей резов при подготовке образцов

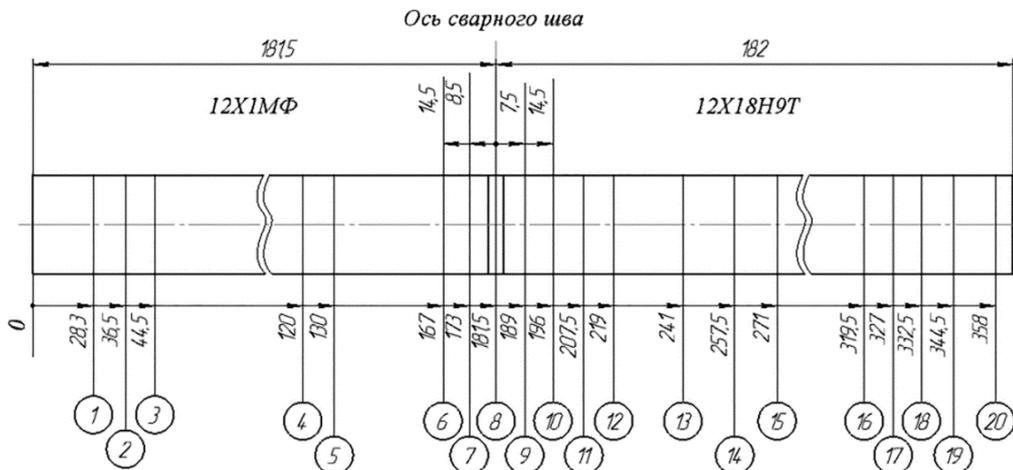


Рис. 2. Исследуемый участок трубопровода с указанием позиций анализируемых зон

В качестве эталонных значений a_0 приняты параметры элементарных ячеек из зон 2 и 17 (рис. 2), наиболее удаленных как от сварного шва, так и от мест торцевания. При этом следует различать фазу α -Fe для исходной трубы из стали 12Х1МФ, фазу α -Fe, полученную из аустенита в процессе операции сварки (высоких нагревов), и фазу γ -Fe для исходной трубы из стали 12Х18Н9Т. Для них получены следующие значения:

- для α -Fe у стали 12Х1МФ $a_0 = 2,875 \text{ \AA}$;
- для α -Fe у стали марки 12Х18Н9Т $a_0 = 2,882 \text{ \AA}$;
- для γ -Fe у стали марки 12Х18Н9Т $a_0 = 3,599 \text{ \AA}$.

Результаты экспериментов и их анализ.

Экспериментальные результаты представлены на рис. 3 – 8.

Видно (рис. 3–6), что вся исследованная зона обладает существенной фазовой (рис. 3, 4) и концентрационной неоднородностью (рис. 5, 6), которая проявляется изменением параметров элементарной ячейки. Соотношение фаз в сварном шве на различных поверхностях (рис. 3, 4) составляет примерно 50×50 %.

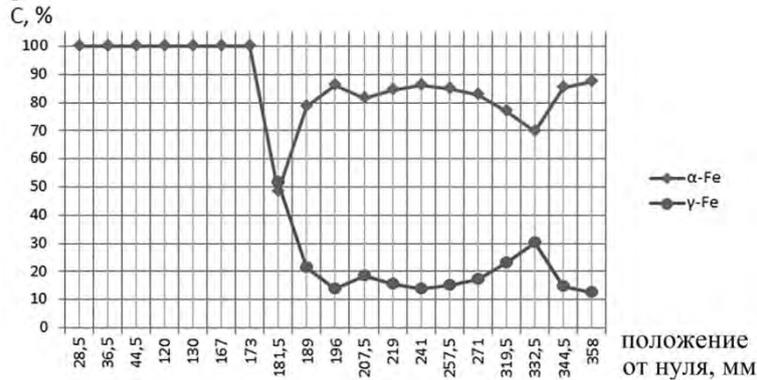


Рис. 3 Концентрация α -Fe и γ -Fe для наружной поверхности

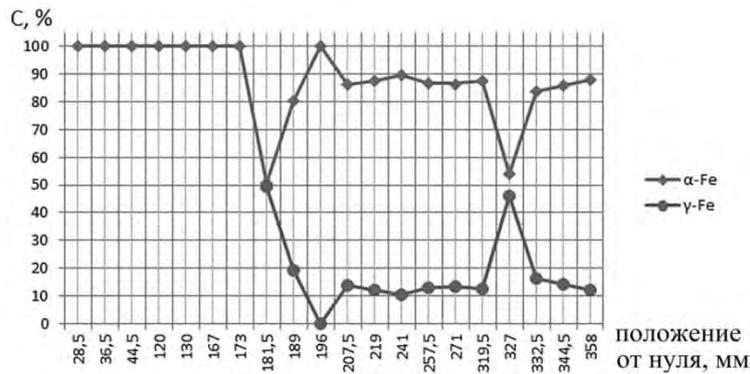


Рис. 4. Концентрация α -Fe и γ -Fe для внутренней поверхности

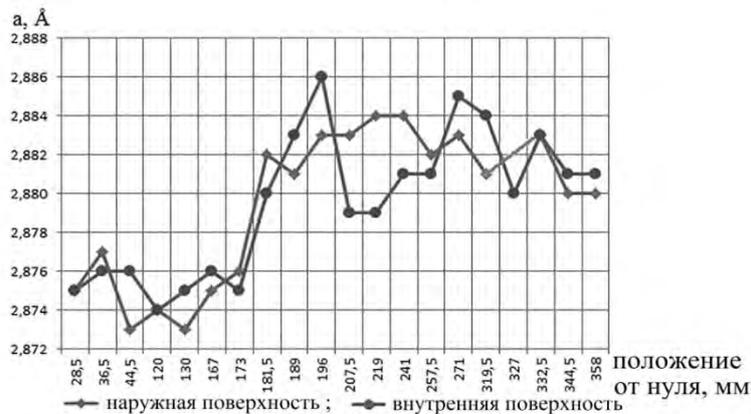


Рис. 5. Параметр элементарной ячейки α -Fe для различных поверхностей

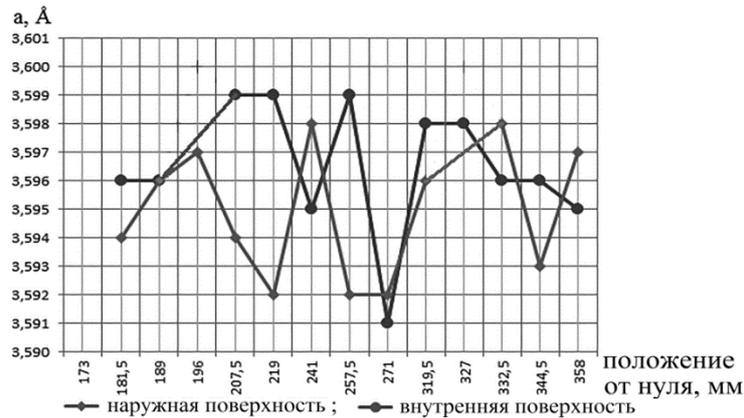
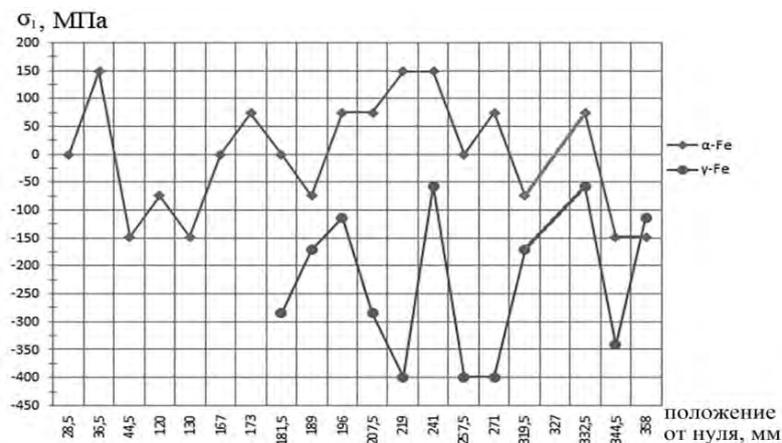
Рис. 6. Параметр элементарной ячейки γ -Fe для различных поверхностей

Рис. 7. Зональные напряжения в различных фазах Fe на наружной поверхности

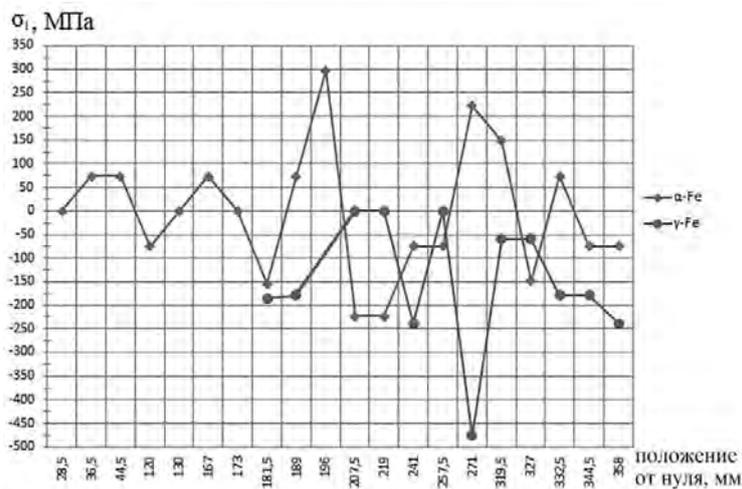


Рис. 8. Зональные напряжения в различных фазах Fe на внутренней поверхности

На рис. 7, 8 представлены результаты измерений зональных напряжений для α - и γ - фаз железа на внутренней и наружной поверхностях. Из рис. 7, 8 следует, что:

- напряжения первого рода в γ -Fe находятся в отрицательной области значений (до -400 МПа на наружной поверхности; и до -240...-275 МПа на внутренней);
- на внутренней поверхности амплитуда изменений величины зональных напряжений в α -Fe (во вторичной фазе) в стали марки 12X18H9T больше, чем в α -Fe (в исходной фазе) в стали марки 12X1МФ;

- в) в сварном шве в обеих фазах отсутствуют растягивающие зональные напряжения;
- г) в ЗТВ растягивающие зональные напряжения в α -Fe составляют: для наружной поверхности порядка 75 МПа; для внутренней поверхности порядка 300 МПа.

По результатам проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. Концентрационная неоднородность поверхностей будет приводить к развитию явлений термической усталости и коррозии по длине трубы.
2. Материал сварного шва не будет подвержен разрушению за счёт термической усталости в связи с наличием в нём сжимающих напряжений.
3. Развитие разрушений наиболее вероятно с внутренней поверхности трубы в ЗТВ на расстоянии 14,5 мм от оси сварного шва (в трубе из стали марки 12Х18Н9Т).
4. Рентгенодиагностика может быть достаточно эффективным средством для прогностических оценок работоспособности сварного шва.

Список литературы:

1. Герасимов В.В., Переверзева О.В. Разрушение сварных соединений элементов теплоэнергоустановок // Технология металлов. – 2008. – № 8. – С. 26–30.
 2. Корнеев А.Е., Старченко Е.Г., Пронин В.П. Определение количества остаточного аустенита в сварных соединениях // Технология металлов. – 2008. – № 5. – С. 24–27.
 3. Масленков С.Б., Масленкова Е.А. Стали и сплавы для высоких температур: Справ. изд. В 2-х кн. Кн. 1. – М.: Металлургия, 1991. – 383 с.
- Работа поддержана грантом РФФИ № 15-08-99544а.

Эволюция макроячейки отечественных водо-водяных энергетических реакторов

Виноградов М.П., Аристов Е.В., Кузьмин А.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск

E-mail: kuzminav@tpu.ru

В физических расчетах гетерогенных ядерных реакторов первого поколения конструктивное решение активной зоны позволяло четко выделить элементарную ячейку решетки с равенством разносторонних токов нейтронов на её границах. Замена реальной ячейки цилиндрической ячейкой равного объема и четким выделением зон горючего и замедлителя позволяла заметно упростить математические выкладки [1]. Эта эквивалентная ячейка, известная как ячейка Зейца-Вигнера, по-прежнему рассматривается в современной учебной литературе [2]. Совершенствование ядерных реакторов и связанное с этим усложнение структуры активной зоны как бы отодвигает в тень этот изящный прием приближенного расчета ядерного реактора.

Под *макроячейкой* или *ячейкой периодичности* будем понимать повторяющийся по своему составу элемент активной зоны. Трансформация макроячеек гетерогенного реактора связана в первую очередь с целью повышения экономичности и безопасности использования ядерного топлива. Покажем это на примере становления отечественных реакторов – ВВЭР-440 и ВВЭР-1000.

На реакторе ВВЭР-3, одном из экспериментальных предшественников ВВЭР-440, решалась задача выравнивания поля энерговыделения по активной зоне с помощью тепловыделяющих сборок (ТВС) разного обогащения и стержней регулирования [3,4]. В этом случае ячейка периодичности представляла собой 120-градусный сектор (рис.1).

Активная зона ВВЭР-440 набрана из шестигранных чехловых ТВС. В качестве компенсации начальной избыточной реактивности используется жидкостное борное регулирование и 37 подвижных поглощающих сборок типа нейтронных ловушек. С начала эксплуатации в 1973 году при проведении работ по совершенствованию топливного цикла, режимов перегрузок топлива и компоновки активной зоны менялся сектор ячейки периодичности [5]. Так, например, при анализе возможного использования рабочих кассет с регенератором урана обогащением 2,4%, картограмма загрузки представляла сектор в 60°, но в большинстве случаев анализа других вариантов топливоиспользования рассматривались ячейки периодичности в 30°.

Первая топливная загрузка, согласно проекту ВВЭР-440, формировалась из кассет различного обогащения для выравнивания поля энерговыделения (