Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Институт ядерной физики и технологий

Кафедра физических проблем материаловедения

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

**к курсовому проекту по дисциплине**

**"Физическое материаловедение"**

**на тему:**

**«РАЗРАБОТКА МАТЕРИАЛА АНТИДЕБРИЗНОГО ФИЛЬТРА РЕАКТОРА**

**ВВЭР-100»**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вариант № 7 |  |  | Группа Б16-103 |
| Выполнил студент |  |  | А. В. Хафизов |
| Научный руководитель | (подпись) |  | М.Г. Исаенкова |
| профессор  Преподаватель | (подпись) |  | А.Н. Сучков |
| доцент, к. т. н  Эксперт-метролог | (подпись) |  | Я.А. Бабич |
| инженер  Консультанты | (подпись) |  | А.Н. Сучков |
| доцент, к. т. н  профессор, д. ф-м. н. | (подпись) |  | В.Л. Якушин |
| доцент, к. т. н | (подпись) |  | А.В. Шульга |
| Заведующий кафедрой  профессор, д. ф-м. н. | (подпись) |  | Б.А. Калин |

(подпись)

Москва 2019 г.

**Введение**

Водо-водяной реактор ВВЭР является в настоящее время одной из самых распространенных ядерных энергетических установок во всем мире. ВВЭР имеет двухконтурную схему, где жидкость первого контура является теплоносителем тепловыделяющей сборки ТВС, а второй – содержит воду, пары которой непосредственно воздействуют на турбину. Со временем, под действием агрессивной среды, происходит эрозия металла и продуктов его коррозии с поверхности первого контура, что приводит к загрязнению воду в этом контуре. Эти загрязняющие вещества многократно циркулируют через ТВС и могут привести к засорению каналов, а также к повреждению поверхности ТВЭЛов.

Антидебризный фильтр является конструктивным элементом, который осуществляет фильтрацию жидкости теплоносителя от загрязнений. Очевидно, что материал фильтра должен иметь высокую коррозионную и радиационную стойкость в условиях жесткого нейтронного облучения, поэтому для эксплуатации данного элемента реактора необходим подбор оптимального состава материала с учетом всех эксплуатационных (высокой температуры, большого флюэнса облучения) и технологических требований (изготовление, способ крепления к ТВС).

**Целью работы является:** разработка антидебризного фильтра для ВВЭР-1000.

# **ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К ПРОЕКТУ**

## **Условия работы материала**

Для выполнения курсового проекта в рамках дисциплины «Физическое материаловедение», было получено задание, представленное в таблице 1.1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант№ | Материал | Конструктивный элемент | Условия работы материала | | | | |
| Т,  °С | σр,  МПа | Среда | Флюенс нейтронов  1022н./см2 | Средняя энергия нейтронов  Е1, МэВ |
| 7 | Fe-Cr-Ni | Антидебризный фильтр | 320 | 190 | H2O | 7 | 1,9 |

Таблица 1.1 – Условия работы антидебризного фильтра

## **Описание конструктивного элемента**

Антидибризный фильтр (АДФ) служит для уменьшения числа отказов тепловыделяющих сборок (ТВС) реакторных установок из-за повреждения оболочек тепловыделяющих элементов (твэл) присутствующими в теплоносителе посторонними частицами (дебризом).

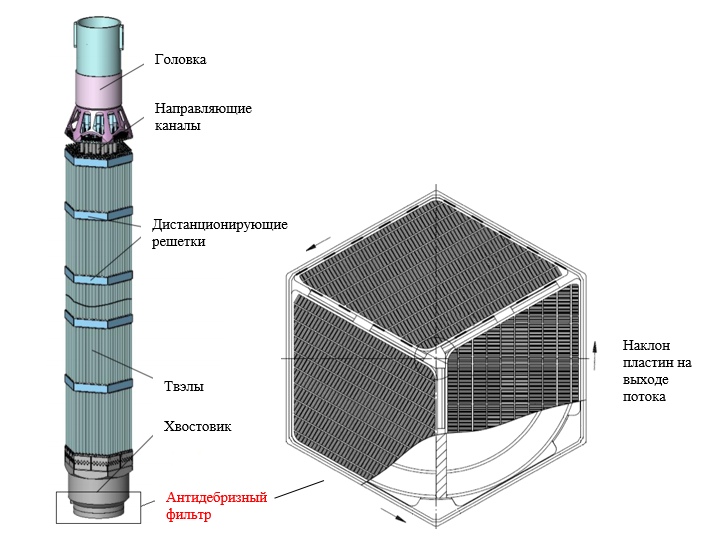
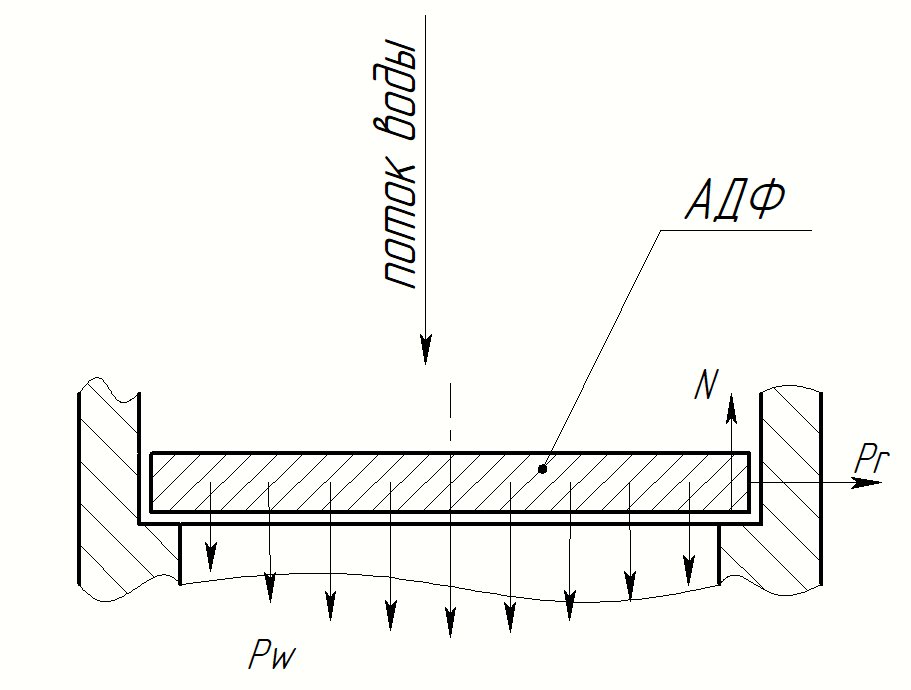


Рисунок 1.1 – Схема ТВС активной зоны ВВЭР-1000

АДФ выполняют из нескольких фильтрующих элементов пластинчатой конструкции с пазами для протока теплоносителя в форме вытянутых прямоугольников, наклоненных к оси ТВС в одной из двух взаимно перпендикулярных плоскостей под определенным углом, обеспечивающим отсутствие просвета фильтрующего элемента в направлении, параллельном оси тепловыделяющей сборки. На рисунке 1.1 изображена тепловыделяющая сборка ВВЭР-1000 и расположение в ней АДФ.

При эксплуатации АДФ испытывает на себе гидродинамическое давление в следствии циркуляции воды, а также соударения с дебриз-частицами. Также, учитвая что элемент находится под высоким радиационным облучением, возможна его деформация – распухание, которое будет являться причиной давления на стенки элементов трубопровода. Распределение действующих сил на антидебризный представлено на рисунке 1.2.



Pw – гидродинамическое давление создаваемое потоком воды, содержащим дебриз элементы; N – реакция опоры узла трубопровода; Pr – давление на узел трубопровода в следствие распухания материала

Рисунок 1.2 – Распределение давлений, действующих на элемент АДФ

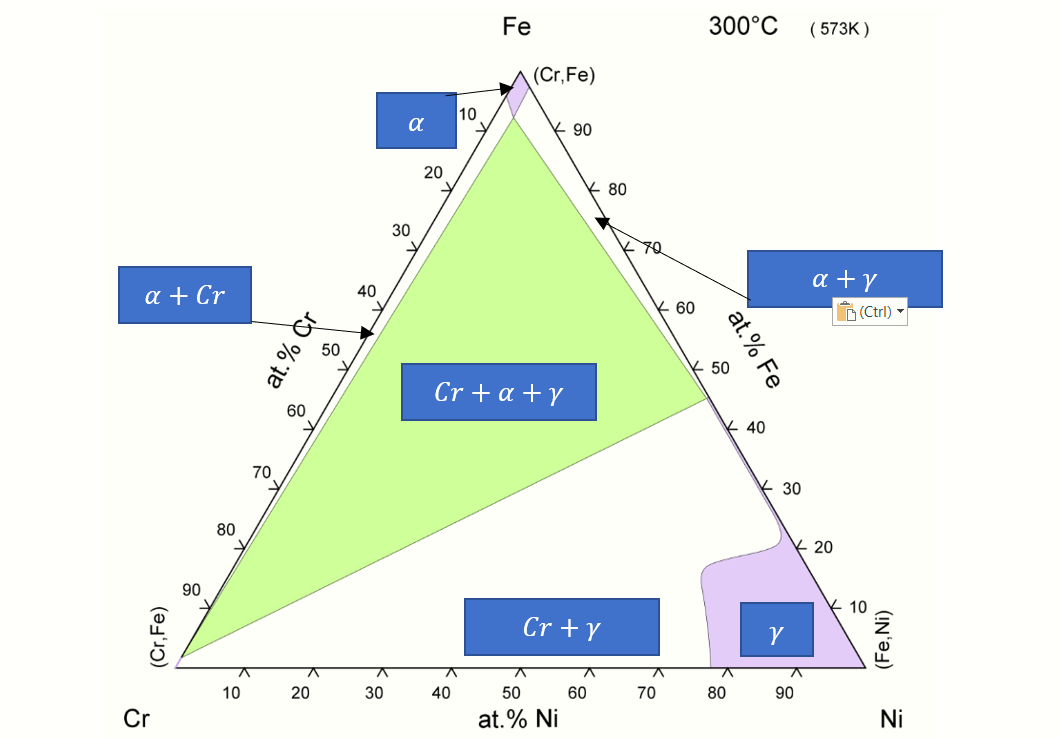
* 1. **Характеристика основы**

Главным компонентом основы разрабатываемого материала является железо. Железо – химический элемент четвертого периода и побочной подгруппы VIII группы периодической системы. Атом железа содержит восемь валентных электронов, однако в соединениях железо обычно проявляет степени окисления (+2) и (+3), редко – (+6).

Железо – серебристо-белый, ковкий и пластичный тугоплавкий (т. пл. 1535°C, т. кип. 2870°C) металл, при температурах ниже 769°C обладает ферромагнетизмом. Материал существует в форме нескольких полиморфных (аллотропных) модификаций. При температурах ниже устойчиво железо с объемно-центрированной кристаллической решеткой - феррит (-Fe), в интервале температур – более плотная модификация аустенита с кубической гранецентрированной (), а выше этой температуры и вплоть до температуры плавления вновь становится устойчивой структура с объемно-центрированной ячейкой (δ-Fe).

Чистый никель – это пластичный, ковкий, химически малоактивный переходной металл серебристо-белого цвета. Этот металл имеет ГЦК структуру с параметром решетки a=3,524 Å и обладает ферромагнитными свойствами с точкой Кюри 358℃. Температура плавления никеля – 1453℃. Никель – довольно распространенный материал в природе, его содержание в земной коре составляет около 0.01 мас. %, однако в связи с трудностью технологии его получения, данный материал не является дешевым. Данный элемент широко используется в качестве легирующего в коррозионностойких сталях (68%), цветных сплавах (10%), а также при гальванизации изделий (9%) [1].

Хром является тяжелым тугоплавким металлом с температурой плавления 1875 ℃. Чистый хром пластичен, однако даже незначительные примеси кислорода и азота делают его хрупким и твердым материалом, имеющим низкую ударную вязкость. Хром так же, как и никель является элементом, использующимся для повышения коррозионной стойкость железа [2], но при этом является дешевым материлом. Хром имеет ОЦК структуру с параметром решетки a=2.885 Å.



– феррит; – аустенит

Рисунок 1.3 – Сечение тройной диаграммы состояния Fe-Cr-Ni при температуре 300 К [3]

Влияние хрома и никеля на структуру железа позволяет получать стали и сплавы различных классов. Хром оказывает влияние на коррозийную стойкость: наличие этого элемента более 12-13% увеличивает коррозийную стойкость железа. Никель, в свою очередь является аустенизатором железа, которое является причиной усиление прочностных свойств сплава.

Сплавы Fe-Cr-Ni является достаточно хорошо изученным. Для предполагаемой температуры использования (T=320°С), наиболее близким является сечение при 300°С, которое представлено на рисунке 1.3.

Известно, что никель является аустенито-стабилизирующим ( на рисунке 1.3) химическим элементом, что является причиной повышения прочностных свойств сплавов. Никель также является элементом, который наиболее сильно снижает температуру хладноломкости Tхл (в небольших концентрациях) и увеличивает ударную вязкость, противодействия распространению трещин в сплавах железа [4], при этом, не ухудшая их технологичность. В больших концентрациях (более 3%), Ni приводит к негативным эффектам: снижению Tхл и к повышению хрупкости. Также следует принимать во внимания высокую стоимость никеля, что делает невыгодным его использования в больших количествах.

Хром является феррито-стабилизирующим ( на рисунке 1.3) элементом из-за изоморфности структур чистого Cr и и близких значениях параметров их кристаллических решеток. Сплавы, содержащие более 13 % хрома, называются сталями ферритного класса, которые заметно уступают аустенитным сплавам в прочностных характеристиках при высокой температуре [4]. Также, следует отметить, что стали с содержанием более 17% склонны к образованию грубой зернистой структуры при сварке, которая не устраняется термической обработкой. Это заметно ухудшает технологические свойства изделий.

Положительным свойством легирования хромом является повышение коррозийной стойкости материала. Так, стали содержащие более 13% Cr называются коррозийно-стойкими и обладают высоким сопротивлением к окислению.

Учитывая, что в нашем случае необходимо наличие высокой коррозийной стойкости и жаропрочности одновременно, а также принимая во внимание высокую стоимость никеля наиболее оптимальным считается состав, соответствующий зеленой зоне рисунка 1.3. Причем, учитывая резкое снижение жаропрочности, можно принять за «верхнюю границу» содержания хрома – 30%. Итак, приблизительный состав разрабатываемого сплава:

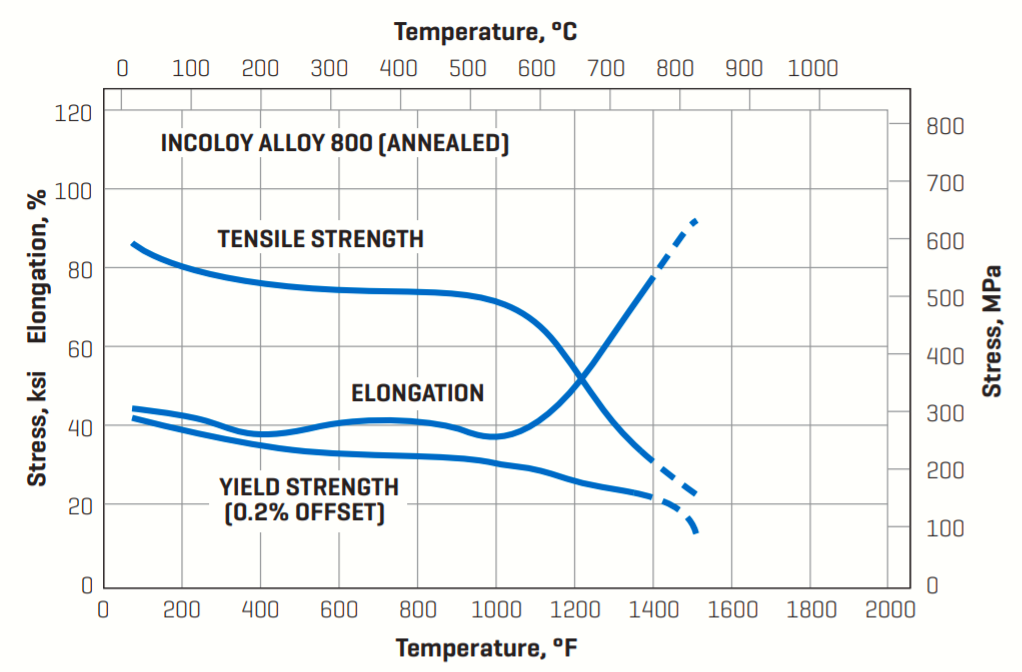
1. Количество хрома находится в пределах от 13% до 30%
2. Никель – от 4% до 35%
3. Железо – от 35% до 83%

В настоящее время существует множество отечественных и зарубежных разработок сплавов, имеющих состав в предполагаемых пределах. Одним из таких сплавов является инколой 800. Он представляет собой хромо-никелевую сталь, проявляющую исключительные жаростойкость и коррозийную стойкость в жидких средах при высоких температурах. Это является главной причиной его использования в трубопроводных системах, турбинах парогенераторах и теплообменниках ядерных реакторов [5]. Состав инкалоя представлен в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Состав инколоя-800 [5]

|  |  |
| --- | --- |
| Элемент | Количество, % |
| Ni | 30,0-35,0 |
| Fe | До 39,5 |
| Cr | 19,0-23,0 |
| C | До 0,10 |
| Mn | До 1,50 |
| S | До 1,0 |
| Si | До 0,75 |
| Cu | 0,15 – 0,60 |
| Al | 0,15 – 0,60 |
| Ti |  |

Инколой обладает высокими жаропрочными характеристиками, зависимость корорых от температуры представлена на рисунке 1.4.



Температура, °F

Температура, ℃

Деформация, %

Предел текучести

деформация

Напряжение, МПа

Инкалой 800

Предел прочности

Рисунок 1.4 – Зависимость механических инкаллоя 800 свойств от температуры [5]

Из рисунка 1.4 видно, что предел прочности уменьшается только при высоких температурах (выше 600 ℃), но имеет приемлемые значения при температуре эксплутации (320 ℃). Материал довольно пластичен и склонен к деформации, не смотря на высокое содержание хрома

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. "Nickel Use In Society". Nickel Institute. Archived from the original on September 21, 2017

2. Калин том 2

3. Cr-Fe-Ni Isothermal Section of Ternary Phase Diagram https://materials.springer.com/isp/phase-diagram/docs/c\_1100748 c\_1100748 (Springer-Verlag GmbH, Heidelberg, © 2016

4. Калин том 6

5. Metals, Special. "Product handbook of high performance nickel alloys." Special Metals, Huntington, WV, accessed May 22 (2015): 2017.