



Рисунок 3 - Смешанная диаграмма с фоновой заливкой

УДК 669.292.5.621

### Радиационностойкие материалы

Студентка гр. 104216 Никитина А.М.

Научный руководитель – Пучков Э.П.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

В результате облучения нейтронами, ионами и другими частицами в конструкционном материале накапливаются радиационные точечные дефекты, их скопления и продукты ядерных реакций. Изменение его состояния приводит к изменению физических и физико-механических свойств (упрочнение, охрупчивание, ускорение ползучести), к формоизменению вследствие распухания и радиационного роста (изменение линейных размеров), к возникновению в материалах наведенной активности и накопленной внутренней энергии.

На процесс образования радиационных дефектов можно повлиять изменением энергии связи атомов, например, путём легирования на твёрдый раствор и изменением энергии первично-выбитых атомов посредством изменения энергии первичной частицы, например нейтрона, т.к. снижению энергии нейтронов вызывает и снижение радиационных дефектов, и изменение типа продуктов ядерных реакций. Таким образом, накопление тех или иных продуктов ядерных реакций можно регулировать в основном выбором состава материала и изменением спектра нейтронов.

Повышенные требования к условиям эксплуатации составных частей активных зон реакторов на быстрых нейтронах (рабочие температуры оболочек твэлов выше 750 °С при уровне накопления радиационных повреждений более 180 с.н.а.), с учетом возросших требований безопасности и экологии, предъявляемых к действующим установкам, ставят задачу разработки новых конструкционных материалов, которые должны оптимально обеспечивать работоспособность деталей и узлов этих установок.

При выборе конструкционных материалов главные требования предъявляются как к их исходным технологическим, физическим, механическим, так и к радиационным и коррозионным свойствам. Выполнение этих требований снижает потенциальную опасность реактора, облегчает его эксплуатацию и допускает многократное использование материалов.

Рассмотрим материалы для твэлов в реакторах на быстрых нейтронах, которые работают в условиях высокой энергонапряженности. В настоящее время для их изготовления используются аустенитные и ферритно-мартенситные стали.

В качестве конструкционных материалов для реакторов БН наиболее перспективными являются сплавы на основе ванадия с титаном и хромом.

По сравнению со сталями аустенитного и ферритно-мартенситного классов сплавы системы V - Ti - Cr обладают рядом преимуществ, среди которых высокие прочностные свойства вплоть до температуры 800 °С, низкий уровень наведенной радиоактивности и быстрый ее спад, низкое остаточное тепловыделение, высокое значение параметра термостойкости (термопрочности), высокая радиационная стойкость, отсутствие высокотемпературного радиационного охрупчивания и распухания.

Проведём сравнительную оценку существующих конструкционных материалов оболочек твэлов. Работоспособность оболочек твэлов и чехловых шестигранных труб из штатных реакторных материалов вызывает серьезные опасения в случае их использования в активной зоне будущих промышленных реакторов на быстрых нейтронах, в первую очередь, в связи со значительной радиационной повреждаемостью аустенитных, ферритно-мартенситных сталей и никелевых сплавов.

Многолетний опыт показал, что успех создания конструкционных материалов для оболочек твэлов достигается при обеспечении высокого уровня трёх основных факторов: комплекса физических, механических и технологических свойств (включая свариваемость); радиационной стойкости; совместимости с теплоносителем и топливным материалом.

Наиболее важным критерием при оценке конструкционных материалов для рассматриваемых условий является жаропрочность, поскольку она определяет при проектировании установки соответствие материала предъявляемым требованиям, включающим высокую температуру и приложенные механические напряжения.

В свое время наиболее предпочтительными материалами оболочек твэлов были стали аустенитного класса благодаря удовлетворительному сочетанию служебных свойств: прочности, жаропрочности, коррозионной стойкости, хорошей технологичности и освоенности промышленностью. При длительных испытаниях аустенитные стали имеют преимущество и перед высоконикелевыми сплавами.

Однако склонность аустенитных сталей к высокотемпературному радиационному охрупчиванию и, главное, к вакансионному распуханию существенно сужает возможность достижения необходимой степени выгорания ядерного топлива. При переходе от экспериментальных к промышленным сборкам стойкостью аустенитной стали 06X16H15M2Г2ТФР к распуханию снизилась в связи с технологическими особенностями плавки слитка и изготовления труб. Даже с учетом того, что критерий напряженно-деформированного состояния (распухание 15 – 18 %) не лимитирует достижение дозы ~ 100 с.н.а., максимальное достигнутое выгорание топлива при использовании стали 08X16H15MЗБР составляет 11,2 % т.а. при повреждающей дозе до 93 с.н.а.

Хромистые ферритно-мартенситные стали хорошо зарекомендовали себя, когда температура эксплуатации установок не превышает 550 °С. Основными недостатками 12%-ных хромистых сталей являются низкая жаропрочность при температурах выше 550 – 600 °С, склонность к низкотемпературному радиационному охрупчиванию и существенное разупрочнение в процессе нейтронного облучения при температурах выше 550 °С. Кроме того, при температурах до 500 °С в этих сталях также проявляется склонность к вакансионному распуханию.

Таким образом, в связи с ужесточением требований по надежности, безопасности и экологическим характеристикам в реакторах нового поколения и существенным повышением рабочих параметров оболочек твэлов (рабочие температуры 320 - 710 °С; достигаемые повреждающие дозы 140 - 180 с.н.а.; окружные напряжения до 80- 120 МПа; увеличение ресурса до 5 - 7 лет ) стали аустенитного и ферритно-мартенситного классов, разработанные на сегодняшний день, не могут обеспечить надежную работу твэлов перспективных ядерных установок.

Исследованиями последних лет показана перспективность использования в установках с реакторами БН с повышенной рабочей температурой и флюенсом нейтронов, а также в термоядерных энергетических реакторах сплавов на основе ванадия. Они обладают хорошими ядерно-физическими свойствами, такими как быстрый спад наведенной радиоактивности и низкий ее уровень, радиационная стойкость и высокая длительная прочность при 750 °С, в то время как стали ферритно-мартенситного класса разупрочняются при температурах выше 600°С, а аустенитные стали — при 650 °С. Сплавы на основе ванадия с титаном и хромом имеют в температурном интервале 550 -700 °С высокие показатели по времени до разрушения.

Удовлетворить повышенным эксплуатационным требованиям могут сплавы на основе ванадия с титаном и хромом при условии защиты их от коррозионного воздействия теплоносителя и топлива ферритной нержавеющей сталью.

Решением проблемы использования сплавов на основе ванадия может быть плакирование оболочки ферритной нержавеющей сталью.

Получен новый радиационностойкий конструкционный материал для оболочек твэлов реакторов на быстрых нейтронах, высокая радиационная стойкость и прочностные свойства которого обеспечиваются сплавом ванадия V - 4Ti - 4Cr, а коррозионная стойкость — нержавеющей ферритной сталью 12X17.

Задачей дальнейших исследований является выбор оптимального состава сплавов системы V - Ti - Cr, отработка технологии и изготовление тонкостенных плакированных оболочек и постановка их на облучение в реактор.

УДК 621.78  
**Закономерности деформаций наружных и внутренних поверхностей при индукционной термообработке деталей автотехники ОАО «МАЗ»**

Магистрант МТФ Бабук Е.П.,  
Научный руководитель – Гурченко П.С.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Долговечность деталей машин чаще всего определяется прочностными характеристиками рабочих поверхностей. В результате упрочнения деталей термической обработкой неизбежно происходят изменения геометрических размеров, что может приводить к браку в процессе изготовления. При индукционной закалке