

*Дерягин Вениамин Валерьевич, студент*

*Самарский государственный технический университет,*

*г. Самара, Россия*

*Email: [marinserga@mail.ru](mailto:marinserga@mail.ru)*

## **ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

**Аннотация:** по сравнению с материалами традиционных электростанций конструкционные материалы атомных электростанций работают в более сложных условиях, поскольку нейтронное облучение ускоряет процесс ползучести, увеличивает временную зависимость интенсивности и резко снижает кратковременность и кратковременный срок службы.

**Ключевые слова:** ядерные и термоядерные установки, энергетика, материалы атомных электростанций.

**Abstract:** In comparison with the materials of traditional power plants, the structural materials of nuclear power plants operate under more difficult conditions, since neutron irradiation accelerates the creep process, increases the time dependence of the intensity and sharply reduces the short-term and short-term service life.

**Keywords:** nuclear and thermonuclear installations, power engineering, materials of nuclear power plants.

Длительная пластичность при средних (20-450°C), высоких (500-800°C) и особенно сверхвысоких (выше 800 °с) температурах увеличивает критическую температуру перехода от хрупкости к вязкости (для металлов ОЦК и графического процессора), снижает коррозионную стойкость, а также

обусловлена ядерными реакциями, газообразные примеси (гелий, водород и т.д.) образуется в материале, что приводит к гелиевой хрупкости, водородной хрупкости и расширению газа. Негазообразные продукты ядерного превращения также могут оказывать значительное влияние на стойкость конструкционных материалов к разрушению, особенно когда они накапливаются в твердом растворе сверх предела растворимости.

Разработка или выбор конструкционных материалов для основных компонентов (корпус топливного элемента, крышка технического канала и т.д.). При таких температурно-временных условиях радиационное расширение аустенитных хромоникелевых коррозионностойких сталей и сплавов может достигать 10-30%. Эти материалы являются основными конструкционными материалами в активной зоне атомных электростанций. При недопустимо большом расширении возможно "заклинивание" отдельных элементов сердечника, а при неравномерном расширении по высоте и радиусу возможен их изгиб. И то, и другое приводит к частичному уменьшению расхода охлаждающей жидкости и другим неблагоприятным последствиям. При неизотропном расширении окружности и толщины корпуса топливного элемента могут возникать дополнительные напряжения, усложняющие эксплуатационные характеристики материалов в конструкции. В более сложных условиях, как уже указывалось, будут работать конструкционные материалы основных компонентов термоядерных электростанций. Даже если мы не рассматриваем взаимодействие плазмы с поверхностью материала первой стенки, то даже в этом случае все еще остается проблемой предотвращение опасных изменений объема и снижение механических, физических и других свойств [1; 2].

Следовательно, радиационное расширение и другие замеченные неблагоприятные эффекты нейтронного облучения могут стать решающими при создании осуществимых и экономичных быстрых реакторов, и перспективных термоядерных электростанций.

В еще меньшей степени было изучено влияние вакансионной пористости на снижение деформационной способности конструкционных материалов.

Можно предположить, что наибольшую опасность следует ожидать от скопления расширенных пор. В этих местах возможна локализация пластической деформации и, следовательно, преждевременное разрушение хрупкости на межфазной границе. Поэтому определение природы и механизма возникновения вакансионных пор, а также метода ослабления или ингибирования радиационного набухания является важным вопросом, имеющим не только теоретическое, но и прикладное значение при изучении прочности конструкционных материалов.

Известно, что термостойкость и холодостойкость очень чувствительны к структурным изменениям, которые происходят в стали и сплавах при изменении температурных и временных условий эксплуатации [1; 2].

Термостойкость и деформационная способность термостойких материалов являются одним из основных критериев, определяющих устойчивость изделия к повреждениям при эксплуатации при высоких температурах. Хрупкое разрушение металлов, работающих в условиях ползучести и релаксации, ограничивает срок службы многих деталей и компонентов

Обычные электростанции [1; 2]. Ускоренное снижение пластичности при облучении реактора оказывает еще большее влияние на характеристики термостойкости конструкционных материалов. В связи с этим актуальной задачей является изучение закономерностей изменения деформационной способности при нейтронном облучении и определение конечной пластичности, зависящей от радиационного повреждения. Эта информация необходима не только для того, чтобы рекомендовать материалы для использования в конкретных температурно-временных условиях, но и для определения разумных методов легирования при производстве новых радиационно-стойких сплавов (таблица 1).

Таблица 1. Влияние нейтронного облучения на эксплуатационные характеристики конструкционных материалов

Явление	Отрицательные последствия
<b>Вакасионное порообразование и радиационное распухание</b>	Уменьшение проходных сечений для теплоносителя, «заклинивание» отдельных движущихся элементов, изгиб конструкций от неравномерного распухания по высоте и радиусу. Снижение деформационной способности, возникновение дополнительных напряжений от неравномерности распухания.
<b>Высоко-температурное охрупчивание</b>	Усиление временной зависимости прочности, проявление физических переломов на кривых длительной прочности. Снижение прочности границ зерен, развитие межзеренных клиновидных и порообразных трещин (полостей), бездеформационное разрушение, проявление хрупкости, т.е. потеря устойчивой зависимости длительной прочности от напряжения и температуры, расширение температурно-временной области с низкой деформационной способностью, усиление хрупкости с увеличением размера зерна и снижение длительной прочности крупнозернистых материалов, необратимость высокотемпературного гелиевого охрупчивания.
<b>Радиационно-стимулированная диффузия и радиационно-стимулированный распад твердых растворов</b>	Ускорение и усиление низко- и высокотемпературного охрупчивания при избирательном (границы зерен, плоскости двойникования, другие поверхности раздела) распаде твердых растворов (при однородном распаде возможно проявление и положительного влияния радиационно-стимулированной диффузии – восходящая ветвь кривой длительной пластичности в аустенитных сплавах, замена пластинчатых гидридов глобулярными в сплавах титана, ускорение релаксации структурных напряжений в мартенситно-старенских сталях и др.). Облегчение коалесценции и миграции пузырьков гелия к границам зерен и другим поверхностям раздела – усиление охрупчивания.
<b>Радиационная ползучесть</b>	Ускорение ползучести, проявление ползучести при более низких температурах. Вырождение третьего периода ползучести – развитие хрупкости и возможность проявления внезапного разрушения. Сокращение второго периода ползучести при развитом третьем периоде – усиление временной зависимости прочности при относительно вязком разрушении.
<b>Термическая усталость и термические удары</b>	Снижение сопротивляемости термической усталости вследствие снижения деформационной способности. Ускорение роста трещин, обусловленное циклическими напряжениями, а также притоком гелия, образующегося при ядерных реакциях и распаде трития, диффундирующего из плазмы.
<b>Низко-температурное охрупчивание</b>	Проявление хрупкости при низких температурах в аустенитных сталях и сплавах. Усиление охрупчивающего влияния в сталях и сплавах с ОЦК - и ГПУ-реперками (ферритные стали, сплавы титана и циркония и др.). Вырождение равномерного удлинения, потеря способности металла к деформационному упрочнению (потеря устойчивости деформирования), локализация деформации, преждевременное развитие повреждений, появление газовой неплотности в тонкостенных конструкциях. Вырождение сосредоточенной деформации – интенсификация повреждаемости в шейке облученных материалов. Интенсификация процессов карбидо- и нитридообразования (и образования других вторичных фаз) в низкотемпературном интервале.

Таблица 2. Влияние нейтронного облучения на эксплуатационные характеристики конструкционных материалов

<b>Радиационная хладноломкость</b>	Повышение температуры хрупко-вязкого перехода в материалах с ОЦК- и ГПУ-решетками (ферритные и перлитные стали, тугоплавкие сплавы, $\alpha$ -сплавы титана и др.), уменьшение работы разрушения. Усиление вредного влияния величины зерна и крупнозернистого строения структурных составляющих на склонность к хрупкости. Усиление влияния вредных примесей (P, Sn, Sb и др.) и некоторых элементов внедрения (N, H) и замещения (Cu, Ni) на повышение критической температуры хрупкости перлитных и ферритно-перлитных сталей.
<b>Снижение сопротивляемости и коррозионному разрушению</b>	Ускорение общей и язвенной коррозии в контакте с хлорсодержащими средами. Резкое снижение сопротивляемости коррозионному растрескиванию аустенитных хромоникелевых сталей и сплавов. Деструкция защитной пленки – ускорение возникновения начальных очагов коррозии. Повышение склонности к водородному охрупчиванию углеродистых низколегированных и ферритных сталей и других материалов.
<b>Физическое и химическое распыление</b>	Утонение несущих конструкций. Избирательность распыления, обеднение поверхностных слоев определенными элементами, перераспределение концентрации легирующих элементов в поверхностных слоях, изменение комплекса механических, физических и других свойств (появление $\delta$ -феррита или мартенсита в аустенитных сталях и др.). Ускорение эрозии в результате образования более летучих химических соединений (например, гидридов или оксидов) при взаимодействии атомарных ионов химически активных газов (H+, O+, N+ и др.) с контактирующей поверхностью.

Из представленных данных видно, что среди различных критериев определения применимости конструкционных материалов в конкретных условиях эксплуатации наиболее важным является способность к деформации. Нейтронное облучение во всех температурно-временных областях приведет к снижению деформационной способности стали и сплавов [1; 2]. Поэтому при изучении воздействия нейтронного излучения на аустенитные хромоникелевые стали и сплавы основное внимание уделяется этому стандарту.

Управление свойствами конструкционных материалов (ослабление или ингибирование неблагоприятного радиационного повреждения) требует уточнения влияния структурных изменений на различные стадии разложения твердого раствора под воздействием облучения.

### **Библиографический список:**

1. Мышинский Э. Л., Рыжков М. А. Судовые поршневые двигатели внешнего сгорания. – Л.: Судостроение, 1996. – 76 с.
2. Ребров С. Г., Голиков А. Н., Голубев В. А. Лазерное воспламенение

ракетных топлив в модельной камере сгорания. «Труды МАИ», № 53, 2012.

3. Патент РФ на изобретение №2326263 с приоритетом от 14.05.2007. Способ воспламенения компонентов топлива в камере сгорания ракетного двигателя и устройство для его осуществления (варианты). Авторы: Иванов А. В., Ребров С. Г., Пономарев Н. Б., Голиков А. Н. и др.