

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ДИСЛОКАЦИОННЫЕ ДЕФЕКТЫ
В ЦИРКОНИЕВОМ СПЛАВЕ Э110**Сюй Ханьюй

Научный руководитель: ассистент ОЭФ ИЯТШ ТПУ Ю.С. Бордулев
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: 925419402@qq.com

STUDY OF TEMPERATURE EFFECT ON DISLOCATIONS IN ZR-1NB ALLOYXu Hanyu

Scientific supervisor: assistant Bordulev Yuriy
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: 925419402@qq.com

Abstract. *This paper describes an experiment to study deformation defects in Zr-1Nb alloy under thermal treatment. As a method of deformation the cold rolling was used. The Doppler broadening (DB) spectroscopy of positron annihilation line was used as a research method. As a result of this work, the dependence of the line-shape parameters of the DB spectra on the annealing temperature of the samples after deformation was determined.*

Введение. Сплавы на основе циркония широко используются для компонентов ядерных реакторов, таких как топливные оболочки, сетчатые распорки и направляющие трубы [1]. В ядерных реакторах типа ВВЭР ниобий-содержащий сплав Э110 (Zr-1Nb) используется в качестве материала для изготовления тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) активной зоны. Топливный стержень выделяет много тепла во время использования, что повышает температуру окружающей среды (300-350 °С). В данных условиях эксплуатации, изделия из циркониевого материала подвергаются насыщению водородом как в результате паро-циркониевой реакции, так и при взаимодействии с газами внутри ТВЭЛа.

В ходе насыщения водородом циркониевого сплава происходят два параллельных процесса. Первый - образование гидрида циркония. Второй - это образование водород-индуцированных дефектов. Помимо создания новых дефектов, водород активно взаимодействует с уже имеющимися дефектами в материале. Концентрация дефекта будет также изменяться с повышением температуры топливного стержня. Состояние дефектной структуры определяет изменение физических свойств материала в процессе его эксплуатации. Таким образом, для решения задач прогнозирования и защиты от разрушения конструкционных материалов, необходимо иметь представление о развитии дефектной структуры в процессе насыщения водородом.

Электрон-позитронной аннигиляции (ЭПА) является хорошим методом обнаружения дефектов внутри металла. Этот метод является надежным, чувствительным и не повреждает металлы, поэтому он широко используется для обнаружения дефектов металла. Для эффективного применения данного метода для исследования таких сложных структур, как водород-индуцированные дефекты, необходимо иметь основные представления о параметрах позитронной аннигиляции в дефектах различного типа. В настоящее время известны основные параметры позитронной аннигиляции в вакансиях и дислокациях

циркония. Помимо этого, известно, как будут меняться данные параметры при взаимодействии водорода с дефектами вакансионного типа. Неисследованной до сих пор областью является изменение параметров аннигиляции позитронов в связанных дефектах типа «дислокация-водород».

Исходя из этого, целью данной работы является исследование влияния водорода на дислокационные дефекты в циркониевом сплаве. Соответственно, для достижения данной цели, нужно решить две задачи. Первая задача – исследование влияния температуры на дислокационные дефекты. Вторая задача - исследование влияние водорода на дислокационные дефекты. Решению первой задачи посвящена данная работа.

Материал и методика исследований. Исследуемые образцы были отшлифованы с целью удаления поверхностных загрязнений. Далее образцы были подвержены технологическому отжигу при температуре 580 °С в течение 3 часов. Операция этого этапа заключается в удалении дефектов внутри металла.

Следующим шагом является холодная прокатка металлического образца. Целью этого шага является создание высокой концентрации дислокаций в металлическом образце. Толщина образца до прокатки составляла 2,05 мм, после холодной прокатки - 1,96 мм, а коэффициент деформации составил 4,3%. Для исследования эволюции дефектной структуры в циркониевом сплаве в зависимости от отжига, был применен метод аннигиляции позитронов - измерение Доплеровского уширения аннигиляционной линии (ДУАЛ). Данный метод позволяет определить вклад валентных электронов и остовных электронов в процесс аннигиляции позитронов в металле.

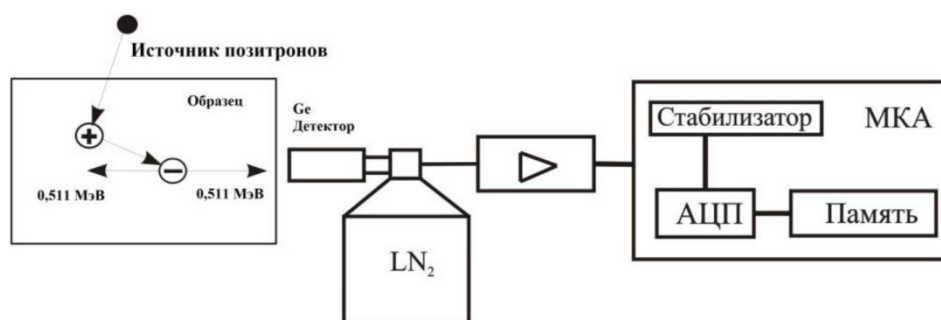


Рис.1. Система для измерения ДУАЛ [2]. LN₂ – сосуд Дьюара с жидким азотом, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, МКА –многоканальный анализатор

При обработке спектров ДУАЛ, внимание уделяется параметрам формы спектров. Параметр S в основном отражает аннигиляцию позитронов и электронов которые имеют низкую энергию (валентных электронов). При увеличении концентрации дефектов, параметр S также увеличивается. Параметр W в основном отражает аннигиляцию позитронов и электронов с высокой кинетической энергией (остовных электронов). При увеличении концентрации дефектов параметр W уменьшается.

Между измерениями образцы были отожжены при температурах в диапазоне 100 – 350 °С в течение 4 часов с шагом в 50 °С. Между процедурами отжигами, образцы были исследованы методом ДУАЛ.

Результаты исследований. Зависимость параметров формы спектров ДУАЛ от температуры представлена на рисунке 2.

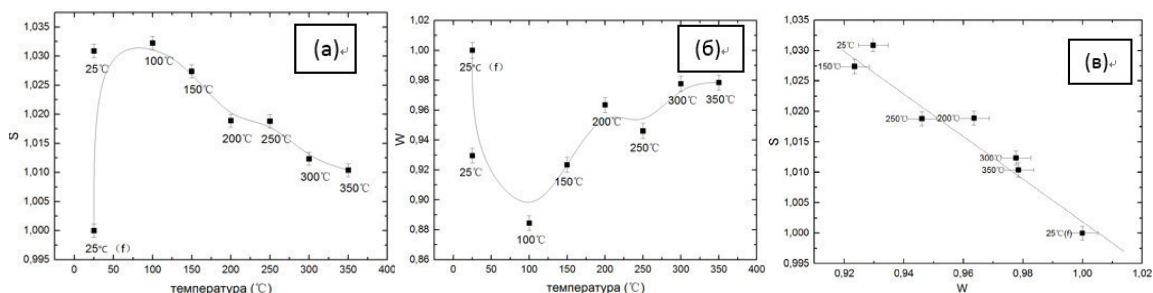


Рис.2 .(а) Изображение параметра S с температурой T (б) Изображение параметра W с температурой T (в) Изображение параметра S с параметром W (f -это металл без дефектов)

По мере увеличения температуры параметр S уменьшается, в то время как параметр W растет. Уменьшение параметра S указывает на уменьшение концентрации свободных электронов, а увеличение параметра W указывает на увеличение концентрации остовных электронов. Это явление иллюстрирует снижение плотности дислокаций в циркониевых сплавах, поскольку дислокации являются дефектом, обладающим свободным объемом. Из Рисунка 2 (в) видно, что зависимость S -параметра от W -параметра имеет линейный характер. Это свидетельствует о том, что в сплаве только имеется только один тип дефектов, который не меняется при отжиге.

Закключение. В ходе проведенного исследования была изучена эволюция дислокационных дефектов в циркониевом сплаве Э110 при отжиге. В результате было показано что:

- 1) с повышением температуры концентрация дислокаций постепенно уменьшается;
- 2) после отжига при разных температурах в материале остается только один тип дефектов;
- 3) после отжига при 350 °C в сплаве сохраняется определенная концентрация дислокаций.

Ввиду того, что при температуре отжига 300-350 °C дислокационные дефекты все еще присутствуют в материале, а также данная температура достаточна для дальнейшего насыщения водородом из газовой фазы, это делает возможным дальнейший эксперимент по насыщению водородом деформированных образцов и исследование влияния водорода на дислокационные дефекты в сплавах циркония.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V. Novikov¹, V. Markelov¹, A. Gusev¹, A. Malgin¹, A. Kabanov¹, Yu. Pimenov. Some Results on the Properties Investigations of Zirconium Alloys for WWER-1000 Fuel Cladding// NUCLEAR FUEL CYCLE AND FUEL MATERIALS (S11) – 2011. – № 26. – Vol.43. – pp.459-467.
2. Krause-Rehberg R., Leipner H. S. Positron annihilation in semiconductors: defect studies. – Berlin, Heidelberg, New York.: Springer – Verlag, 1999. – pp. 20.