

АНАЛИЗ ДИСПЕРСИИ ВОЛН ЛЭМБА ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ МАТЕРИАЛА ОБОЛОЧЕК ТВЭЛ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ УСКОРЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

© 2025 г. Алексей Витальевич Васильев^{1*}, Д.В. Перов², Д.Ю. Бирюков¹,
В.Н. Костин², А.Ф. Зацепин¹

¹ – Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
620002 Екатеринбург, ул. Мира, д. 19

² – Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, 620108 Екатеринбург,
ул. С. Ковалевской, д. 18

* - vasilev.a.v98@list.ru

В последние десятилетия особое внимание уделяется исследованию влияния радиационного воздействия на материалы, используемые в ядерной энергетике, особенно в контексте их применения в топливных элементах (ТВЭЛ) реакторов [1]. Радиационные повреждения, вызванные потоками высокоэнергетических частиц, таких как электроны с энергией порядка 10 МэВ, могут влиять на механические и акустические характеристики используемых материалов. Многократное смещение атомов под действием облучения приводит к вакансионному набуханию, потере пластичности и прочности материалов ТВЭЛ [2]. Поэтому в атомной промышленности поставлена задача увеличения срока их службы с целью снижения затрат на производство электроэнергии.

Волны Лэмба позволяют выявлять изменения в структуре и механических свойствах тонкостенных объектов типа пластин или труб, которые являются акустическими волноводами, поскольку их толщина сравнима с длиной акустической волны [3].

В настоящей работе исследовались исходный и облученный образцы в виде пластин, изготовленные из развернутой цилиндрической оболочки ТВЭЛ.

Измерение ультразвуковых импульсов волн Лэмба выполнено одним совмещенным пьезоэлектрическим преобразователем (ПЭП) при отражении сигналов от торцов исследуемых образцов. Параметры преобразователя: угол ввода $\alpha = 40^\circ$, рабочая частота $f = 5$ МГц. Общее расстояние, пройденное волной в образце $h = 60$ мм. Ультразвуковые импульсы волн Лэмба были зарегистрированы в образцах на дефектоскопе PCUS-10.

С использованием алгоритма оценки мгновенной частоты акустических сигналов, основанного на использовании специализированного непрерывного вейвлетного преобразования [4], была выполнена обработка импульсов волн Лэмба. Это позволило восстановить протяженные участки дисперсионной характеристики моды волн Лэмба типа s_0 (рис. 1).

Дисперсионная характеристика моды s_0 в облученном образце заметно смещена вправо по оси частот относительно исходного. Данное смещение может быть связано как с изменением модуля упругости материала вследствие радиационных повреждений, так и с

появлением внутренних напряжений, вызванных структурными изменениями под воздействием излучения.

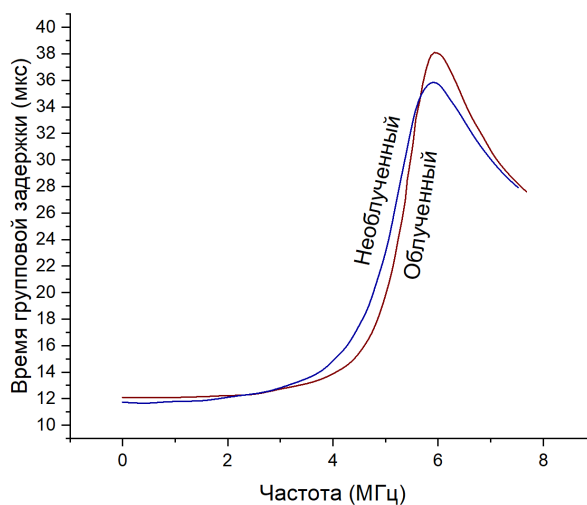


Рис. 1. Дисперсионные зависимости мод s_0 волн Лэмба в исходном и облученном образцах

Результаты измерений и расчетов показали, что для получения объективной информации с использованием волн Лэмба уточнение и анализ дисперсионных зависимостей представляет собой важный и ответственный этап организации прецизионного контроля радиационных повреждений объектов типа оболочек ТВЭЛ.

Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки России для УрФУ (проект FEUZ-2023-0014) и госзадания Минобрнауки России для ИФМ УрО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбунов В.А., Андрианов С.Г., Коновальцева С.С. Оценка влияния радиационного теплообмена на параметры температурных полей твэлов различного конструктивного исполнения // Вестник ИГЭУ. 2021. № 2. С. 23–31.
2. Сухих А.В. Содержание кобальта и вакансионное распухание стали ЧС-68 // Атомная энергия. 2007. Т. 102. Вып. 3. С. 163–168.
- 3 Викторов И.А. Физические основы применения ультразвуковых волн Рэлея и Лэмба в технике. М., Наука, 1966.
4. Перов Д.В., Ринкевич А.Б. Локализация отражателей в пластинах при ультразвуковом контроле волнами Лэмба // Дефектоскопия. 2017. № 4. С. 27–41.