

УДК 620.179.16

Оценка возможностей ультразвукового спектрального метода для диагностики термического старения стали

Сысоев Алексей Андреевич^{1,2}

aasysoev@cniitmash.com

SPIN-код: 4403-1856

Могильнер Леонид Юрьевич²

mogilner@mail.ru

SPIN-код: 8334-1680

¹ НПО «ЦНИИТМАШ», Москва, Россия² МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрена возможность применения ультразвукового спектрального метода неразрушающего исследования деградации параметров стали при длительной наработке. В результате экспериментов при ускоренных испытаниях получены характеристики донных импульсов, которые можно использовать для выявления деградации материала.

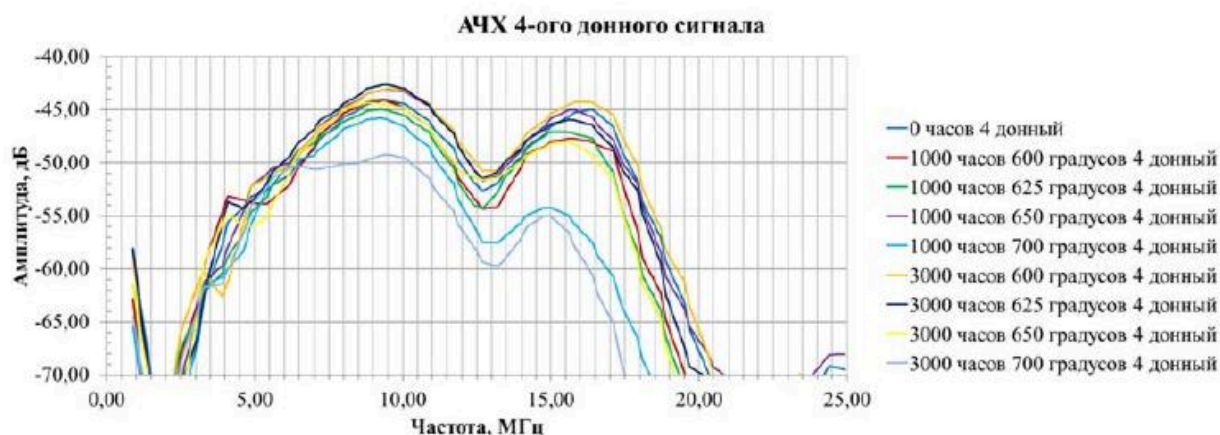
Ключевые слова: опасные производственные объекты, длительная эксплуатация, деградация стали, размер зерна, акустические свойства, спектр акустических импульсов

Введение. Прогнозирование остаточного ресурса элементов АЭС, отработавших несколько десятилетий, необходимо для продолжения безопасной эксплуатации этих промышленно опасных объектов. При длительной эксплуатации термостойкой стали происходит микроструктурная деградация, которая проявляется, в первую очередь, в увеличении размера и дисперсии зерна, а также в температурно-временной эволюции карбидной фазы [1]. Существующие методы контроля либо недостаточно чувствительны к этим изменениям, либо требуют проведения разрушающего контроля [2]. Поэтому актуальна разработка методов неразрушающего контроля деградирующих сталей, в качестве которого на основании литературных данных после предварительной проработки выбран спектральный метод ультразвуковой (УЗ) дефектоскопии.

Методы и материалы; результаты. Исследования проведены на стали 15X1M1Ф. Номинальная толщина труб из данной стали составляет 20 мм, поэтому моделирование старения проводилось на образцах размером 250×30×20 мм. Интерес представляет наработка до 700 тыс. часов при температуре 350 °С. Для сокращения времени моделирования оно проведено в режимах изотермического старения при температурах 600, 625, 650, 700 °С и наработке 1000 и 3000 часов. Это обеспечило ускоренную имитацию реальных условий эксплуатации и получение представительной серии структур стареющего материала. Экстраполяция результатов на температуру эксплуатации выполнена аналогично [1] с применением подхода, основанного на параметре Ларсона — Миллера (Холомона) (P), который описывает темпера-

турно-временную эквивалентность процессов старения металлов: $P = T (C + \log t)$. Здесь T — температура в Кельвинах, C — константа материала, t — время наработки в часах.

Влияние изменения структуры материала образцов на спектральный состав УЗ импульсов, проходящих через материал образцов, в соответствии с рекомендациями из [1], проведены с использованием прямого совмещенного УЗ преобразователя с номинальной частотой 15 МГц. Наиболее убедительные результаты получены для 4-го донного, для которого выявлена корреляция параметров с увеличением степени термического повреждения. Пример получаемой амплитудно-частотной характеристики представлен на рисунке. Видно, что по мере наработки амплитуда сигнала уменьшается до 11 дБ, центральная частота смещается в зону низких частот на 1,6 МГц при погрешности измерения $\pm 0,6$ МГц.



Сравнение спектров 4-го донного сигнала для образцов с различной наработкой

Закключение. На примере термического старения стали 15X1M1Ф подтверждена целесообразность использования ультразвукового спектрального метода для диагностики деградации металла. Выявленные снижения амплитуды и центральной частоты сигналов по мере наработки статистически значимы и соответствуют гипотезе о связи этих параметров с развитием микро-неоднородности материала.

Список источников

- [1] Ушаков В.М., Данилов В.Н., Сысоев А.А. Исследование структуры металла при неразрушающих испытаниях ультразвуковым спектральным методом. *Тяжелое машиностроение*, 2022, № 9, с. 2–8.
- [2] Сысоев А.А., Жуков А.Д. Современные подходы к прогнозированию и контролю термического старения материалов трубопроводов АЭС. *Команда–2025: сб. тез.* Москва, ООО «Издательский дом Недра», 2025, с. 113–114.