

Abstract – One of the most important elements included in the quality assurance system at an industrial enterprise is quality control of materials and products at all stages of production. In conditions when special requirements are imposed on the quality of NPP equipment, an increasingly significant role is played by non-destructive methods of quality control, which make it possible to assess the actual state of the item without violating the integrity, decommissioning and reducing operational characteristics.

Keywords: phased array ultrasonic testing (PAUT), time-of-flight diffraction method (TOFD), reactor facility (RF), three-dimensional scale modeling, remote presentation/ acceptance.

УДК 620.179.118.7

ОСОБЕННОСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ МЕТОДОМ СКАНИРУЮЩЕЙ КОНТАКТНОЙ ПОТЕНЦИОМЕТРИИ*

А.И. Алвахеба^{*}, В.Г. Бекетов^{**}, А.Е. Дембицкий^{**}, В.И. Сурин^{*}

^{*}Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

^{**}Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

Метод сканирующей контактной потенциометрии (СКП) было применен для выявления дефектов в сварных соединениях. Спектрограммы, построенные с помощью FIR-фильтра, дают качественные изображения структурных неоднородностей. При обработке данных программируемые амплитудные дискриминаторы (ПАД) позволяют применять FIR фильтры на разных уровнях фиксации (SLS). Эффективность локализации неоднородностей с помощью разработанного метода связана с применением разнообразных оконных функций. Исследовано сварное соединение обечайки центральной СС №23-1/2 и СС №23-2/2 ПГВ№4 методом СКП. Применяли датчики с преобразователями из стали X18H10T и молибдена.

Ключевые слова: Неразрушающий контроль; Выявление дефектов; Метод сканирующий контактной потенциометрии, сварное соединение стали.

Выявление типа дефекта и определение его координат методом сканирующей контактной потенциометрии (СКП) осуществляется как во временной, так и в частотной областях. Значения частот волн механических напряжений, излучаемых дефектами и регистрируемых аппаратурой, лежит в инфразвуковой области и простирается от 0,001 до единиц герц. Нами разработан математический метод обработки спектров контроля на основе фильтра с конечной импульсной характеристикой – FIR-фильтра [1].

Спектрограммы, построенные с помощью FIR-фильтра для одиночных рефлексов, дают качественные изображения структурных неоднородностей близкие, а иногда и превосходящие по качеству изображения рефлексов на потенциограммах. Фильтром с конечной импульсной характеристикой называют функцию вида:

$$y[n] = \sum_{p=0}^{M-1} x[n-p]h[p],$$

где $x[p]$ – выборка экспериментальных данных, $h[p]$ – дискретный импульсный отклик.

Линейная инвариантная во времени система характеризуется своим откликом на импульс Дирака. Если сигнал изменяется дискретно во времени, тогда говорят о функции дискретного линейного отклика. Для построения функции дискретного импульсного отклика примем шаг выборки, равным $T = 1$ сек. Дискретные значения амплитуды сигналов контроля будем обозначать $\varphi[n]$ и при этом использовать фильтры с конечным импульсным откликом, которые удовлетворяют условию [2]:

$$L\varphi[n] = \sum_{p=0}^{M-1} \varphi[p]h[n-p], \quad (1)$$

где L – линейный дискретный оператор, инвариантный во времени:

$$L\delta[n] = h[n]$$

$\delta[n]$ – дельта функция Дирака. Если импульсный отклик $h[n]$ строится на конечной выборке, тогда фильтр называется конечным. Диаграмма, представленная на рисунке 1, поясняет действие FIR фильтра на конечной выборке.

По определению, линейный дискретный оператор L инвариантен во времени, если при входном сигнале $\varphi[n]$ с задержкой p выполняется условие:

$$\varphi_p[n] = \varphi[n-p] \quad (2)$$

и на выходе также получается значение с задержкой p [3]:

$$L\varphi_p[n] = L\varphi[n-p]. \quad (3)$$

На ограниченной выборке FIR фильтр осуществляет преобразование входного вектора φ длиной m отсчетов в выходной вектор $L\varphi$, или функцию линейного оператора, длиной также m отсчетов, посредством умножения k отсчетов входного вектора на соответствующие им число коэффициентов h с последующим суммированием (рисунок 1). Таким образом, FIR фильтр представляет собой обычную свертку.

Передаточную функцию фильтра определим, как функцию вида:

$$\hat{h}(k) = \sum_{n=0}^{M-1} h[n] e^{-ikn} \quad (4)$$

Ряд Фурье является частным случаем преобразования Фурье для суммы Дирака. Если функцию от времени $\varphi(t)$ можно представить в виде:

$$\varphi(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \varphi[n]\delta[t-n],$$

то ее передаточная функция равна

$$\hat{\varphi}(k) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \varphi[n]e^{-ikn}.$$

При обработке данных программируемые амплитудные дискриминаторы (ПАД) позволяют применять FIR фильтры на разных уровнях фиксации (SLS) [3]. Для визуализации результатов эксперимента необходимо построить матрицу размером $m \times n$, где m – число отсчетов, n – число измерительных дорожек (треков), а на пересечение

строк и столбцов располагаются значения спектральной функции линейного оператора. Эффективность локализации неоднородностей с помощью разработанного метода связана с применением разнообразных оконных функций в качестве дискретного импульсного отклика $h[n]$.

Для уменьшения расчетной погрешности использовали быстрое преобразование Фурье на заданной экспериментальной выборке. В методе СКП в качестве функции $\varphi[n]$ используется функция контактная разность потенциалов [3].

Методом СКП исследовано сварное соединение обечайки центральной СС №23-1/2 и СС №23-2/2 ПГВ№4 на стадии технологической сборки в заводских условиях. Потенциометрические измерения были выполнены относительно «массы» парогенератора [4,5]. Для этого стационарный датчик закреплялся на корпусе парогенератора. Применяли датчики с преобразователями из стали X18H10T и молибдена. Ручное поточечное сканирование поверхности образца осуществляли по восьми измерительным дорожкам, четыре из которых принадлежали левой части СС (относительно оси симметрии СС) и четыре – правой. Время одного сета измерений для каждой дорожки составляло около 15 минут. Анализ результатов по глубине залегания дефектов проводили с помощью ПК на различных структурных уровнях сигнала (SLS).

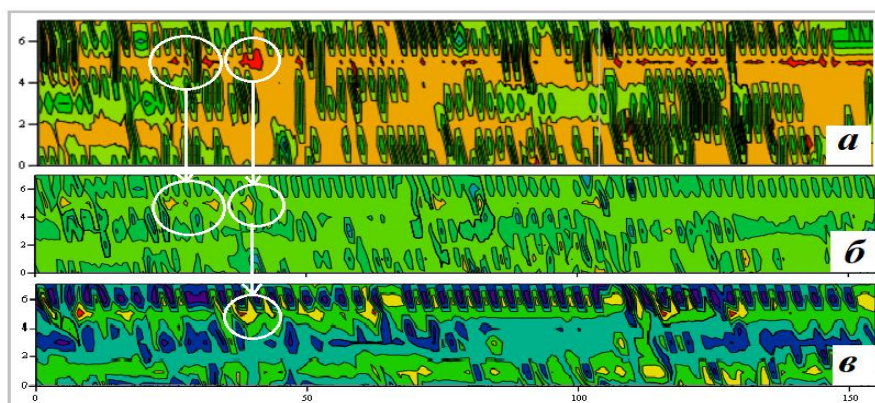


Рисунок 1 – Потенциограмма результата контроля обечайки центральной СС №23-2/2, ПГВ№4 на уровне фиксации SLS=4,398 (а). Вид модуля реальной части спектральной функции (б) и модуля спектральной функции (в). В белые круги выделены неоднородности. По оси «х» обозначено число отсчетов измерений, по оси «у» – номера измерительных треков

На рисунке 1 приводится результат расчетов, на рисунке 2 – пример локализации отдельной неоднородности.

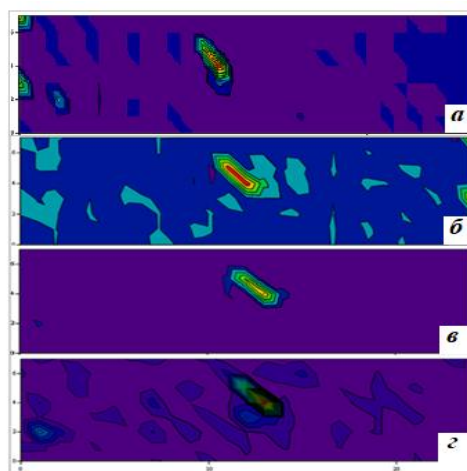


Рисунок 2 – Потенциограмма результата испытаний стали ЭИ847 на уровне фиксации SLS=4,086 (а). В центре потенциограммы видно изображение области образования зародыша микроскопической трещины. Вид модуля реальной части спектральной функции (б), модуля спектральной функции (в) и модуля мнимой части спектральной функции (з). По оси «х» обозначено число отсчетов измерений, по оси «у» – номера измерительных треков [6]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сурин В.И., Волкова З.С. Алгоритм аппроксимации экспериментальных данных на основе низкочастотного фильтра с конечной импульсной характеристикой // Информационные технологии в проектировании и производстве, 2020, №4, с. 25-29.
2. Малла С. Вэйвлеты в обработке сигналов. – Москва: Мир, 2005.
3. Сурин В.И., Евстюхин Н.А. Электрофизические методы неразрушающего контроля и исследования реакторных материалов. Учебное пособие. Москва МИФИ, 2008.
4. Alwaheba A.I., Surin V.I., Ivanova T.E., Ivanov O.V., Beketov V.G., Goshkoderov V.A. Detection of defects in welded joint by scanning contact potentiometry. *Nondestructive Testing and Evaluation*, 2020.
5. Beketov V.G., Surin V.I., Dembitsky A.E., Abu Gazal A.A., Alwaheba A.I. Control quality of welded joints by scanning contact potentiometry method// *KnE Engineering*, XIII International Youth Scientific and Practical Conference "FUTURE OF ATOMIC ENERGY - AtomFuture 2017" – Materials of innovative energy.– Dubai, UAE, 2018 («Knowlegde E»), pp. 219-229 (<https://knepublishing.com/index.php/KnE-Engineering/article/view/1621/3834>)
6. Абу Газал А.А., Джумаев П.С., Осинцев А.В., Польский В.И., Сурин В.И. Экспериментальное исследование процесса разрушения стали ЭИ847 методами структурного анализа// Письма о материалах, 2019, выпуск 1, №9, с. 33-38.

Defects Detection in Welded Joints by the Method of Scanning Contact Potentiometry

A.I. Alwaheba^{*1}, V.G. Beketov^{2}, A.E. Dembitskiy^{**3}, V.I. Surin^{*4}**

**National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow, Russia*

***Volgodonsk Engineering and Technical Institute - Branch of the National Research Nuclear University "MEPhI", Volgodonsk, Rostov region, Russia*

¹e-mail: elphyslab@yandex.ru

²e-mail: vgbeketov@mephi.ru

³e-mail: demartev@gmail.com

⁴e-mail: visconst@rambler.ru

Abstract – Method scanning contact potentiometry (SCP) is used to detect defects in welded joints. The spectrograms constructed using the FIR filter give high-quality images of structural inhomogeneities close to each other. When processing data, programmable amplitude discriminators (PAD) allow the use of FIR filters at different levels of fixation (SLS). The efficiency of localization of inhomogeneities using the developed method is associated with the use of a variety of window functions. The welded joint of the central shell SS No. 23-1/2 and SS No. 23-2/2 PGV No. 4 was investigated by the SCP method. Transducers made of steel X18N10T and molybdenum were used. Analysis of the results on the modulus of the real spectral function and the modulus of the spectral function, and found that the SCP method gives additional information about defects.

Keywords: Non-destructive testing; Defects detection; Scanning contact potentiometry method, steel welded joint.