

**В.Г. ЛЕВЧЕНКО**, аспирант, НТУ "ХПИ", Харків

### РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ СВАРОЧНОГО ШВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СКАНИРОВАНИЯ ВИХРЕТОКОВЫМ ДАТЧИКОМ

В роботі запропоновано метод реконструкції поверхні зварного шва на основі даних, отриманих в результаті сканування його поверхні вихрострумивими перетворювачами накладного та прохідного типів. Отримано результати сканування у вигляді графіків поверхні зварного шва за рахунок рішення зворотної електромагнітної задачі.

The method of reconstruction of the surface of the weld on the basis of data obtained by scanning its surface plated transducer and passing types. Try the scan results in graphs surface of the weld due to reverse the decision of the electromagnetic problem.

**Вступлення.** При неразрушающем контроле сварных соединений зачастую целесообразно применение вихретоковых методов, которые позволяют, наряду с обнаружением дефектов, оценить физико-механическое состояние сварного шва, что дает возможность спрогнозировать его поведение в течении времени при заданных условиях эксплуатации исследуемого объекта. Основным инструментом вихретокового контроля является вихретоковый преобразователь (ВТП), который создает зондирующее электромагнитное поле и регистрирует ответную реакцию в виде выходного сигнала ВТП. Информационный сигнал ВТП зависит от большого числа факторов, в том числе от геометрии объекта контроля (ОК), его электромагнитных свойствах и наявности локальных неоднородностей (дефектов). С одной стороны, многопараметровость информационного сигнала ВТП является явным преимуществом данного метода. С другой стороны, в случае сварного соединения, неопределенность геометрии и существенная неоднородность магнитных и электрических свойств данного объекта вносит неоднозначность в результат контроля дефектов и физико-механических свойств. Зачастую, отстройку от влияния геометрии можно осуществить путем создания зондирующего электромагнитного поля определенной геометрии и частоты. Что касается неоднородности электромагнитных свойств, то учет этого фактора можно выполнить только после сложных и трудоемких дополнительных исследований (магнитных и электрических испытаний) [1].

**Основная часть.** Задачей настоящей работы является трехмерная реконструкция структуры сварного соединения с учетом его специфических магнитных и электрических свойств, по выходному сигналу ВТП в электромагнитном поле со специальной геометрией в зоне контроля. В работе

[2] авторами была предложена математическая модель сварного соединения, которая основана на взаимодействии элементарных кольцевых вихревых токов в ОК с внешним зондирующим электромагнитным полем. Суперпозиция всех элементарных магнитных полей системы "ВТП-ОК" в математическом плане приводит к решению простой системы линейных алгебраических уравнений.

$$\begin{pmatrix} \dot{Z}_{nn} = const & \dot{Z}_{ni} = const & \dot{Z}_{no} = const \\ \dot{Z}_{in} = const & \dot{Z}_{ii} = const & \dot{Z}_{io} = const \\ \dot{Z}_{on} = const & \dot{Z}_{oi} \neq const & \dot{Z}_{oo} \neq const \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \dot{I}_n \\ \dot{I}_i \\ \dot{I}_o \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{E}_n \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

где  $\dot{Z}_{nn}, \dot{Z}_{ni}, \dot{Z}_{no}, \dot{Z}_{in}, \dot{Z}_{ii}, \dot{Z}_{io}, \dot{Z}_{on}, \dot{Z}_{oi}, \dot{Z}_{oo}$  - коэффициенты, представляющие собой соответствующие комплексные сопротивления обмоток и образца, а также учитывающие магнитные связи системы;

$\dot{I}_n, \dot{I}_i$  и  $\dot{I}_o$  - намагничивающий, измерительный и вихревой ток;

$\dot{E}_n$  - ЭДС в намагничивающей обмотке преобразователя.

Обратная задача восстановления поверхности сварного шва решается по следующему алгоритму. Вначале, в качестве известных параметров принимаются измеренные значения намагничивающего тока  $\dot{I}_n$  и выходной сигнал измерительной обмотки ВТП (амплитуда и фаза тока  $\dot{I}_i$ ). В качестве неизвестного вихревого тока  $\dot{I}_o$  в объекте контроля принимаются предварительно рассчитанные значения для идеализированной модели сварного соединения. Коэффициенты  $\dot{Z}_{nn}, \dot{Z}_{ni}, \dot{Z}_{no}, \dot{Z}_{in}, \dot{Z}_{ii}, \dot{Z}_{io}, \dot{Z}_{on}$  для витков намагничивающей и измерительной обмоток рассчитываются по разработанной ранее методике [2]. При этом, коэффициенты  $\dot{Z}_{oi}, \dot{Z}_{oo}$ , которые описывают взаимодействие ОК с обмотками ВТП считаются неизвестными. Решение уравнения (1) для искомых коэффициентов  $\dot{Z}_{oi}, \dot{Z}_{oo}$  осуществляется с использованием метода решения переопределенных систем или задачи линейного программирования в системе Matlab.

Для подтверждения предложенного метода были проведены исследования геометрии сварного соединения трубы, фрагмент которой показан на рис. 1. Труба помещалась в поперечное по отношению ее оси, электромагнитное поле, создаваемое катушками Гельмгольца. На рис. 2 приведена функциональная схема установки, реализующая амплитудный и фазовый методы сканирования сварного шва в поперечном однородном магнитном поле. Установка содержит вихретоковые преобразователи проходного ПВТП и накладного НВТП типа.

Исходными данными для расчета является семейство выходных сигналов проходной и накладной измерительных обмоток вихретокового

преобразователя, которые получены сканированием ОК в продольном и радиальном направлении (по образующей цилиндра).



Рис. 1 Объект исследования со сварным швом.

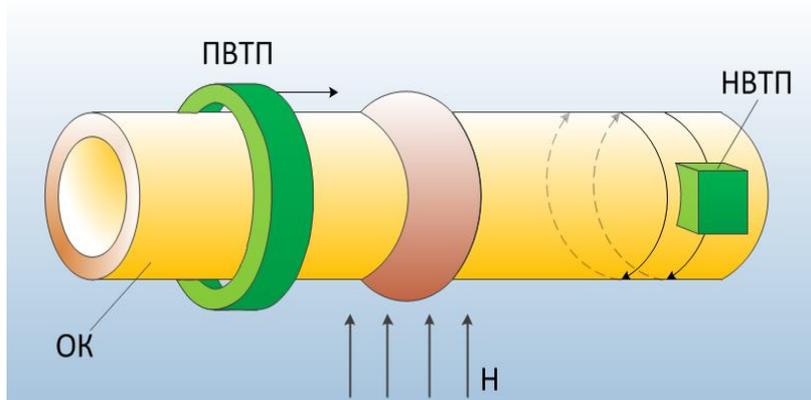


Рис. 2. Функциональная схема системы контроля

В выбранных отсчетных точках по длине и образующей были получены зависимости выходного сигнала ВТП для обеих измерительных обмоток. Для каждой отсчетной точки (шаг 2 мм) решалось уравнение (1) относительно неизвестных коэффициентов  $\dot{Z}_{он}$  и  $\dot{Z}_{оо}$ . Далее, исходя из известных

магнитных и электрических свойств шва и основного металла, с использованием соответствующих алгоритмов системы Matlab восстанавливалась трехмерная геометрия поверхности сварного соединения, которая показана на рис. 3.

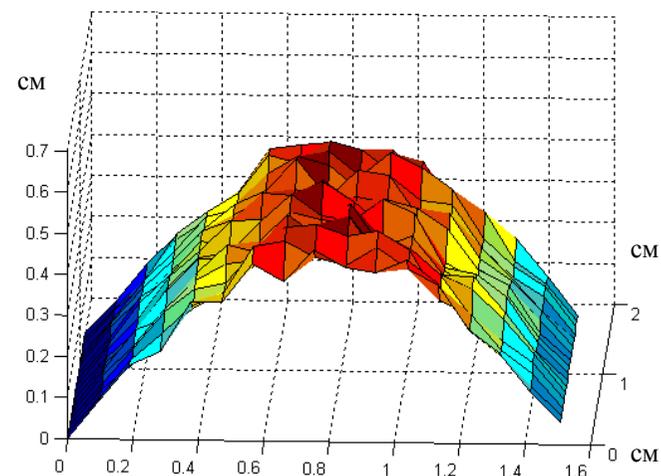


Рис. 3. Реконструкция поверхности фрагмента трубы со сварным швом.

Поверхность сварного соединения отображается на графике в реальных единицах измерения и соответствует специфическим размерам самого шва.

**Выводы.** Полученная в результате расчетов поверхность сварного соединения существенно идеализирована и не отображает реального состояния шва, по причине недостаточного набора исходных экспериментальных данных и малой разрешающей способности измерительной обмотки ВТП. Тем не менее, данный метод дает принципиальную возможность осуществлять трехмерную реконструкцию геометрии исследуемых объектов, в том числе и с дефектами.

**Список литературы:** 1. Неразрушающий контроль: Справочник. В 7 т. Т. 2 / Под общ. ред. В.В Клюева. – М.: Машиностроение, – 2003. – 688 с. 2. Тюпа И.В., Левченко В.Г. Расчетные и экспериментальные исследования сварного соединения. Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПІ"- №14.- 2009. –С.104-108.

*Поступила в редакцію 20.05.11*