

И.В. ТЮПА, канд. техн. наук, доц. НТУ "ХПИ";
В.Г. ЛЕВЧЕНКО, аспирант, НТУ "ХПИ"

РАСЧЕТНЫЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

У роботі запропоновано модель взаємодії вихорострумowego перетворювача з фрагментом труби з зварювним швом у вигляді аналітичного рішення суперпозиції електромагнітних полів, які обумовлені обмотками перетворювача та дзеркально відображеними вихоровими струмами в виробі. Проведено експериментальні дослідження магнітних характеристик зварювального шва і біля шовної зони, отримані розрахункові та експериментальні сигнали вихорострумowego перетворювача.

The model of co-operation of eddy current transformer is in-process offered with the fragment of pipe with a welding stitch as an analytical decision of superposition of the electromagnetic fields which are conditioned by coils of transformer and mirror represented eddy currents in good. Experimental researches of magnetic descriptions of welding stitch and welding area, got calculation and experimental signals of eddy current transformer, are conducted.

Введение. При вихретоковой дефектоскопии сварных соединений существует задача оценки влияния неоднородности шва и околошовной зоны на результаты контроля, поскольку в выходном сигнале вихретокового преобразователя содержится многопараметровая информация о геометрии контролируемого изделия, дефектах, электрических и магнитных свойствах, что существенно усложняет идентификацию искомых параметров объекта. При проектировании вихретоковых преобразователей для контроля качества сварных соединений под конкретные условия эксплуатации в расчетные соотношения закладываются геометрические параметры шва, а также электрические и магнитные характеристики шва и околошовной зоны [1].

Основная часть. В данной работе предложена расчетная модель вихретокового преобразователя при контроле сварного соединения фрагмента трубы (Ст.2 ПС), выполненного электродуговой сваркой электродом марки АНО-21-Э46 и экспериментально проверена ее адекватность. На рис. 1 показан эскиз расчетной модели сварного шва и околошовной зоны, которая основана на суперпозиции элементарных магнитных полей замкнутых вихревых токов в объекте. При построении данной модели, принято разбиение цельного трубчатого объекта на отдельные близко расположенные токопроводы, для каждого из которых определяются соответствующие активные R_{ij} , индуктивные ωL_{ij} и взаимдуктивные ωM_{ij} сопротивления. Как показано в работах [2,3], для данной модели довольно легко составить классическую систему линейных алгебраических уравнений и решить

относительно вихревых токов в объекте контроля. На рис.1 показано трубчатое сварное соединение, с областью чистого металла: удельная электрическая проводимость σ_T и относительной магнитной проницаемостью μ_{TT} , в кольцах которой протекают вихревые токи J_T . Аналогично, в зоне сварного шва приняты другие электромагнитные характеристики σ_C и μ_{TC} , а также соответствующий вихревой ток J_C .

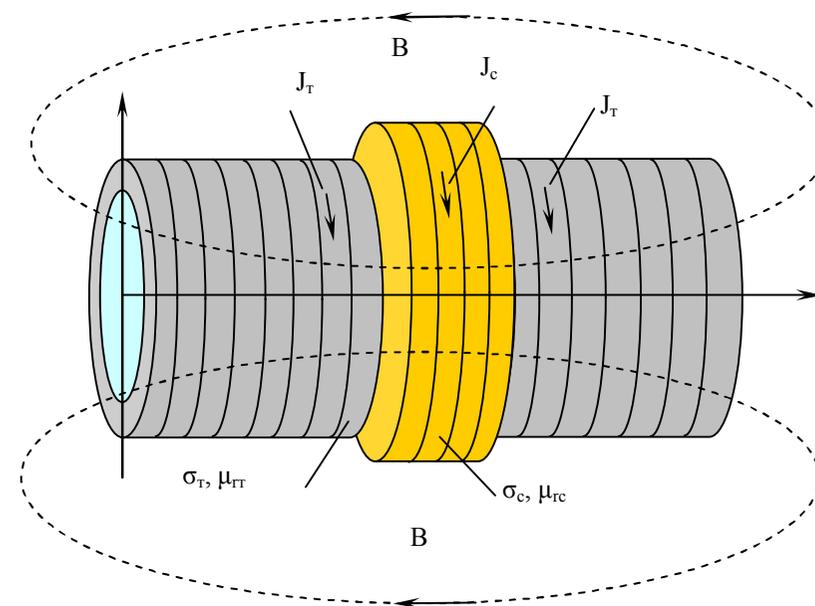


Рисунок 1 – Модель фрагмента трубы с сварным соединением.

Для более точного расчета параметров модели, возникла необходимость определения магнитных и электрических свойств исследуемого объекта. На рис. 2 представлено изображение фрагмента сечения трубы с сварным швом, из которой были изготовлены кольцевые образцы одинакового размера $a=10$ мм с постепенным удалением от зоны сварного соединения, которые обозначены на схеме соответствующими цифрами 1, 2, 3, 4. На каждый кольцевой образец наносились соответствующие намагничивающие $W_H=500$ витков и измерительные обмотки $W_{изм}=150$. Испытания проводились на переменном токе частотой 50 Гц феррометром с использованием методики, описанной в работе[4].

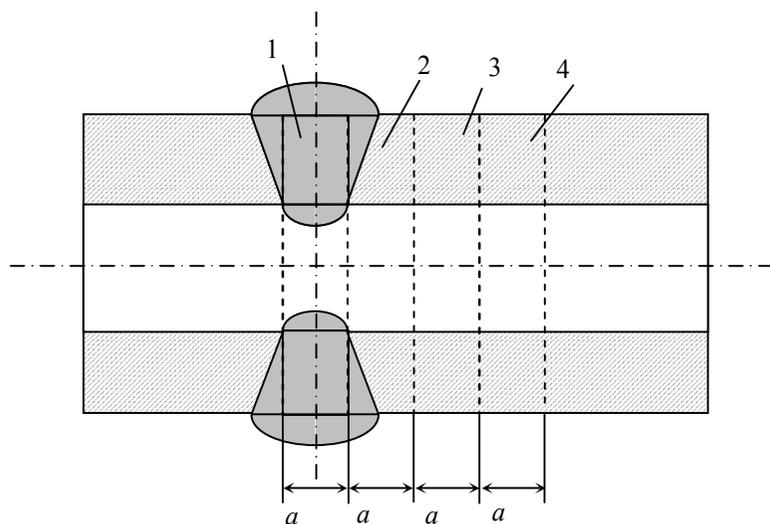


Рисунок 2 – Эскиз исследуемого фрагмента трубы со сварным швом и околошовной зоной.

При этом значения индукции, напряженности магнитного поля и относительной магнитной проницаемости определялись из формул работы [4].

$$H_m = \frac{c(R_B + r_{изм} + r_{np})}{2S_{обр}W_{изм}f} \alpha_B; \quad (1)$$

$$B_m = \frac{c(R_H + r_{2M} + r_{np})W_H}{2Mfl_{обр}} \alpha_H; \quad (2)$$

где c – постоянная прибора; R_B и R_H – сопротивление магазина сопротивлений в цепи измерения индукции и напряженности магнитного поля; $r_{изм}$ – сопротивление измерительной обмотки; r_{np} – сопротивление микроамперметра; r_{2M} – сопротивление вторичной обмотки катушки взаимной индуктивности; α_B и α_H – отклонения указателя микроамперметра; M – величина взаимной индуктивности; W_H и $W_{изм}$ – количество витков намагничивающей и измерительной обмоток; $S_{обр}$ и $l_{обр}$ – площадь сечения и длина окружности образца.

На рис. 3 приведены графики зависимостей относительной магнитной проницаемости μ_r материала исследуемой трубы, сварного шва (зона 1), околошовной зоны (2, 3, 4). Здесь же для сравнения приведен график зависимости относительной магнитной проницаемости материала электрода,

характеристики которого получены на специально изготовленном соответствующем кольцевом образце.

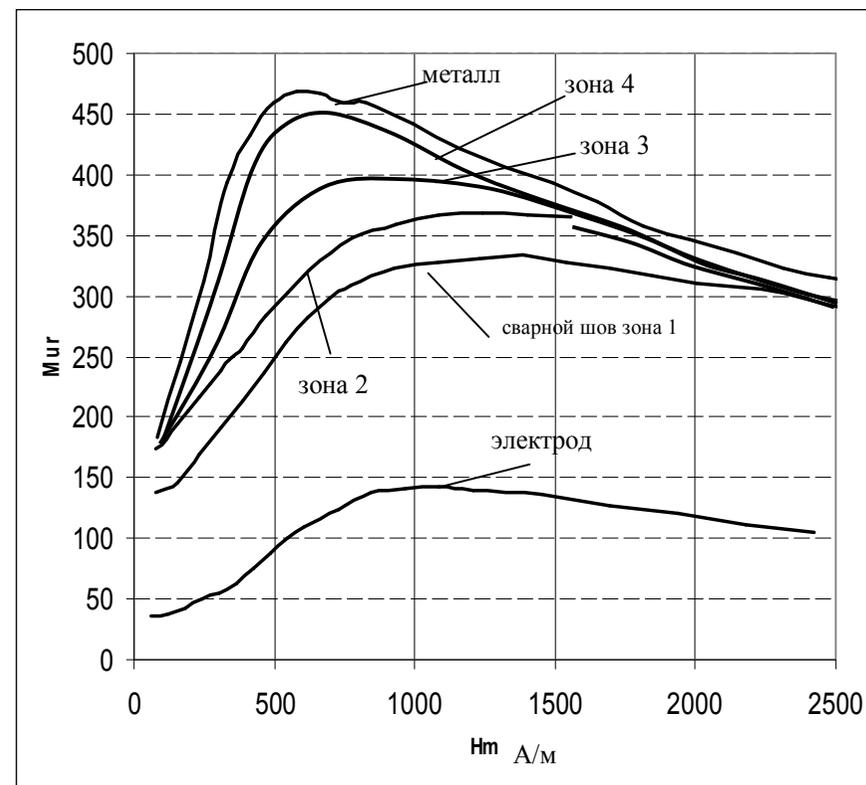


Рисунок 3 – Магнитные характеристики сварного шва, электрода и околошовной зоны.

Для нахождения соответствующих удельных электрических сопротивлений шва и чистого металла проводились испытания специально изготовленных разомкнутых кольцевых образцов с использованием потенциометра постоянного тока Р363. Характерные значения удельной электрической проводимости чистого металла $\sigma=5,23$ МСм/м, сварного соединения $\sigma=4,63$ МСм/м.

На рис. 4 приведены графические расчетные (1) и экспериментальные (2) зависимости выходного сигнала вихретокового преобразователя при сканировании сварного шва проходной измерительной обмоткой преобразователя.

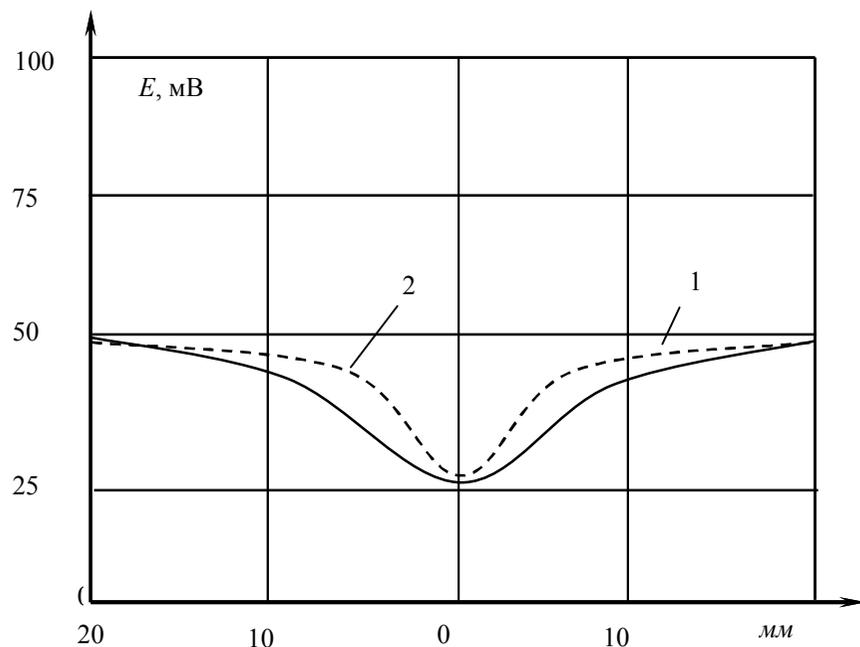


Рисунок 4 – Графики зависимости выходного сигнала измерительной обмотки вихретокового преобразователя: расчет 1; эксперимент 2

Как следует из графика, данная модель объекта контроля довольно хорошо (расхождение около 10%) описывает выходной сигнал вихретокового датчика, что позволяет применять ВТП для проведения экспресс контроля качества сварного соединения.

Список литературы: 1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. Ред. В.В. Клюева. Т.2: В 2 кн.-М.: Машиностроение, 2003.-688 с. 2. Горкунов Б.М., Тюпа И.В. Моделирование вихретоковых преобразователей с токопроводящим объектом методом зеркальных изображений // Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности: тезисы докладов 6-й Международной конференции. Москва: Машиностроение -1.- 2007. – С. 134-136. 3. Горкунов Б.М., Тюпа И.В. Модель параметричного вихрострумового перетворювача // Методи і прилади контролю якості. -2008. - Вип. №21. С. 9-13. 4. Кифер И.И. Испытания ферромагнитных материалов, М., "Энергия", 1969, 360 с.