

Расчеты параметров оптических изображений объектов, полученных с помощью датчиков импульсных магнитных полей

Павлюченко В. В., Дорошевич Е. С.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

На основании разработанных методов контроля получены расчетные зависимости $U(x)$ электрического напряжения, снимаемого с преобразователя магнитного поля, сканирующего магнитный носитель (МН) от расстояния x до проекции оси линейного индуктора. Найденные зависимости $U(x)$ для алюминиевого образца в виде клина позволяют повысить оперативность контроля толщины по длине образца, а также дефектов сплошности в нем.

Распространенными методами контроля электрических свойств объектов из электропроводящих материалов и дефектов сплошности в них являются вихретоковый [1], магнитодинамический [2]. Теоретические и экспериментальные результаты исследований свойств электропроводящих объектов с использованием гистерезисных свойств преобразователей магнитного поля, проведенные авторами, изложены в [3-5]. Целью работы является повышение оперативности контроля определения толщины электропроводящих объектов, дефектов сплошности в них за счет анализа сигнала с удаленных от индуктора участков объекта. Это достигается путем проведения теоретических расчетов распределений электрического напряжения $U(x)$ от координаты x , снимаемого с преобразователя магнитного поля, сканирующего магнитный носитель (МН). Для расчетов использовали формулы, полученные авторами ранее в [5] для МН с арктангенсовой характеристикой ветвей гистерезиса. На объект с прижатым к нему МН воздействовали импульсом магнитного поля с заданными амплитудой и временем нарастания, и рассчитывали величину электрического напряжения U на выходе магнитной головки, сканирующей МН. Импульсное магнитное поле создавали с помощью линейного индуктора. Тангенциальную составляющую напряженности магнитного поля индуктора рассчитывали по формуле:

$$H = A / (x^2 + b^2), \quad (1)$$

где A – постоянная; x – расстояние в сантиметрах до проекции оси индуктора в плоскости измерения; b – расстояние в сантиметрах от оси индуктора до магнитного носителя.

Величину U , снимаемого с преобразователя магнитного поля при воздействии на МН одним импульсом магнитного поля в прямом направлении H_1 , определяли по формуле

$$U_1 = 23,5 + 24,3 \operatorname{arctg}(0,011H_1 - 1,45), \quad (2)$$

а величину электрического напряжения при воздействии на МН одним импульсом магнитного поля H_1 в прямом направлении и вторым обратным импульсом H_2 находили как

$$U_2 = -23,5 + 0,61U_1 + (24,5 + 0,40U_1)\operatorname{arctg}((0,011 + 0,000087U_1)H_2 + 1,45 - 0,0016U_1). \quad (3)$$

При использовании метода нулевого центрального максимума получали максимальную чувствительность только в точке, лежащей на проекции оси индуктора. Найдем чувствительность метода в других точках распределения $U(x)$. Пусть толщина образца из алюминия изменяется вдоль координаты x по формуле: $d = d_0(1+0,2x)$, а $d_0 = 0,1$ мм.

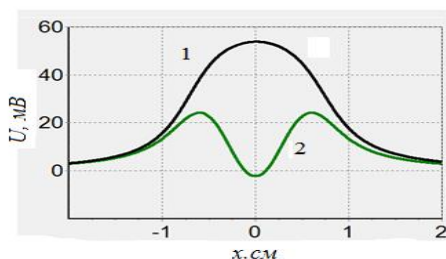


Рис. 1. Расчетные зависимости $U(x)$:
1 – воздействие прямым импульсом, 2 – воздействие прямым и обратным импульсами. Толщина пластины $d = d_0$

Тогда согласно [3] при времени нарастания импульса порядка $t_{max} = 2,0 \cdot 10^{-5}$ с получаем следующую зависимость величины тангенциальной составляющей напряженности суммарного магнитного поля вблизи поверхности пластины:

$$H = H_0 (1 + 0,04x). \quad (4)$$

При $x = 1$ см, получаем $d = 1,2d_0$ [3]. Воздействуем на пластину из алюминия импульсом магнитного поля линейного индуктора в прямом направлении. В результате получаем зависимость 1 (рис. 1) величины $U(x)$, снимаемого с преобразователя магнитного поля, сканирующего МН от расстояния x до оси проекции индуктора на МН. После этого воздействуем импульсом магнитного поля обратного направления и получаем зависимость 2 (рис. 1) $U(x)$.

Характеристики магнитного носителя указаны в [5, рис. 1]. Расчет напряженности магнитного поля осуществляли по (1). При этом для прямого и обратного импульсов значения постоянных составляли $A_{11} = 144 \text{ А}\cdot\text{см}$, $A_{21} = -35,8 \text{ А}\cdot\text{см}$. Метод нулевого максимума второго порядка состоял в следующем. Задавали величину амплитуды прямого и обратного импульсов магнитного поля таким образом, чтобы в результате воздействия обоими импульсами на МН при $x = 0$ величина $U(x) = 0$ для образца заданной толщины. Из рис. 1 видно, что минимум сигнала для зависимости 2 находится вблизи нуля (на проекции оси) для толщины алюминиевой пластины d_0 . Определим согласно зависимостям $U(d)$, представленным в [3], для алюминиевой пластины толщиной d , что увеличение ее толщины в 1,2 раза (например, от 0,1 мм до 0,12 мм при времени нарастания импульса порядка $2,0 \cdot 10^{-5} \text{ с}$) соответствует увеличению напряженности суммарного магнитного поля вблизи поверхности пластины в 1,04 раза.

Таким образом, находим параметры импульсов магнитного поля для расчета $A_{21} = 149,76 \text{ А}\cdot\text{см}$, $A_{22} = -37,23 \text{ А}\cdot\text{см}$. Воздействуем указанными импульсами на образец и получаем зависимость 2 (рис. 2). Здесь же представлена зависимость 1 из рис.1, а также разностная зависимость 3 между распределениями 1 и 2. На основании этих распределений 1 и 2, построим оптические изображения магнитных полей. Это построение осуществляем путем создания зеркальных функций, наложения прямых и зеркальных зависимостей друг на друга, со смещением зеркальных функций по вертикали и выделением полученных геометрических фигур с установлением уровней оттенков цветности для них (рис. 3).

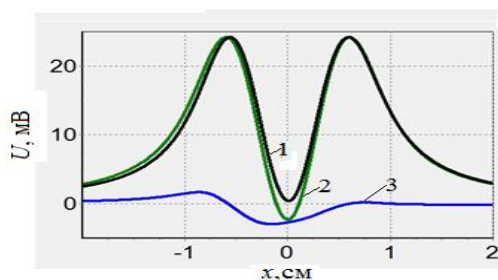


Рис. 2. Расчетные зависимости $U(x)$:
1 – при $d = d_0$, 2 – при $d = 1,2d_0$, 3 – разностная зависимость

Найдем распределение $U(x)$ для алюминиевой пластины в виде клина с линейно изменяющейся вдоль координаты x толщиной $d = d_0(1 + 0,2x)$. Для уменьшения погрешности измерений найдем более точные параметры

нулевого максимума: $A_{21} = 144,86 \text{ А}\cdot\text{см}$, $A_{22} = -36,015 \text{ А}\cdot\text{см}$. Применим метод нулевого центрального максимума и получим расчетные распределения $U(x)$ для толщины алюминиевой пластины 1,0 мм и 1,2 мм.

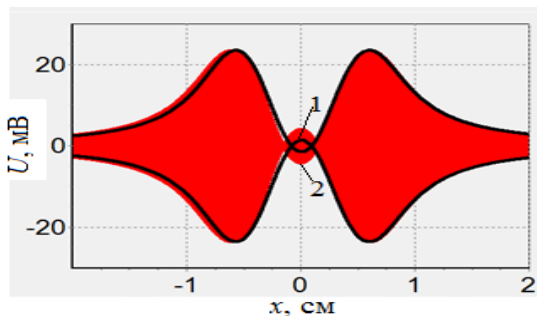


Рис. 3. Оптические изображения магнитных полей:
1 – при $d = d_0$, 2 – при $d = 1,2d_0$

Из рис. 4 следует, что величина сигнала увеличилась на 2,7 мВ, а величина разностного сигнала при $x = 1 \text{ см}$ составляет 0,9 мВ.

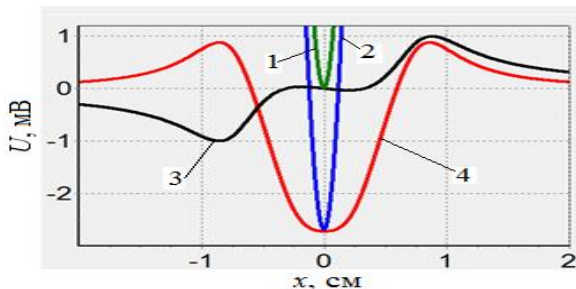


Рис. 4. Расчетные зависимости $U(x)$: 1 – при $d=d_0$, 2 – при $d=1,2d_0$,
3 – разностная зависимостей для $d = d_0(1+0,2x)$ и $d = d_0$,
4 – разностная зависимостей для $d = 1,2d_0$ и $d = d_0$

При этом информацию о свойствах объекта получаем в результате одного измерения по всей линии замера приблизительно в 10 раз быстрее, чем при многочисленных измерениях (например, 30 измерений от $-1,5 \text{ см}$ до $1,5 \text{ см}$ с локальностью $0,1 \text{ см}$), с точностью того же порядка.

Разработанный метод позволяет повысить в десятки раз оперативность определения дефектов и геометрических параметров при контроле сварных трубопроводов и строительных металлических конструкций.

Литература

1. Астахов, В. И. К вопросу о диагностике пластины с трещиной вихретоковым методом / В. И. Астахов, Э. М. Данилина, Ю. К. Ершов // Дефектоскопия. – 2018. – № 3. – С. 39–49.
2. Лухвич, А. А. Толщинометрия покрытий на деталях сложной геометрии / А. А. Лухвич, А. Л. Лукьянов, Я. И. Шукевич, А. К. Шукевич, М. Н. Полякова, В. В. Мосякин // Дефектоскопия. – 2013. – № 7. – С. 13.
3. Павлюченко, В. В. Неразрушающий контроль объектов из электропроводящих материалов в импульсных магнитных полях / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Дефектоскопия. – 2010. – № 11. – С. 29–40.
4. Pavlyuchenko, V. V. Calculating Distributions of Pulsed Magnetic Fields under Hysteretic Interference / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich and V. L. Pivovarov // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2018. – Vol. 54, No. 2. – P. 121–127.
5. Павлюченко В. В. Гистерезисная интерференция магнитного поля перемещаемого линейного индуктора / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Дефектоскопия. 2020. – №1. – С. 51–60.

УДК 620.130-179

Контроль электропроводящих объектов с использованием гистерезисных свойств преобразователей магнитного поля

Дорошевич Е. С., Павлюченко В. В.
Белорусский Национальный Технический Университет
Минск, Республика Беларусь

Представлены оптические изображения распределений магнитных полей по координате, соответствующие параметрам суммарного магнитного поля вблизи поверхности объекта и характеризующие электрические свойства материала объекта и дефекта сплошности в нем. При этом задавали оптимальные последовательности изменения амплитуды напряженности магнитного поля для построения дискретных оптических изображений.

Контроль свойств объектов может быть осуществлен вихретоковым [1] и другими методами. Определение удельной электропроводности объектов, а также их толщины и параметров дефектов в них осуществлено в работах авторов в импульсных магнитных полях с применением разработанных гистерезисных методов контроля [2-5]. Целью работы является повышение точности контроля свойств электропроводящих объектов в импульсном магнитном поле путем штрих-кодовых форм записи, считывания и расшифровки информации об изделиях. Для этого используют магнитный носитель (МН)