

Литература

1. Козлов, В. С. Техника магнитографической дефектоскопии / В. С. Козлов. – Мн.: Вышэйшая школа, 1976. – 256 с.
2. Фалькевич, А. С. Магнитографический контроль сварных соединений / А. С. Фалькевич, М. Х. Хусанов. – М.: Машиностроение, 1966. – 176 с.
3. Pavlyuchenko, V. V. Differential Background of Electric Signal Read from an Induction Magnetic Head / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2021. – Vol. 57, No. 8. – P. 706–716.
4. Pavlyuchenko, V. V. Hysteretic Interference of Time-Overlapping Magnetic Field Pulses / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2019. – Vol. 55, No. 12. – P. 949–956.
5. Pavlyuchenko, V. V. Imaging Electric Signals of a Magnetic Field Transducer with Hysteretic Interference for Testing Metals in Pulsed Magnetic Fields / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2020. – Vol. 56, No. 11. – P. 907–914.
6. Pavlyuchenko, V. V. Testing for Discontinuities in Metals Using Film Flux / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2019. – Vol. 55, No. 1. – P. 48–58.
7. Pavlyuchenko, V. V. Testing for Defects in Pulsed Magnetic Field Transmitted Through Metal / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2021. – Vol. 57, No. 10. – P. 856–864.

УДК 620.130

Контроль свойств металлических объектов в прошедшей и отраженной электромагнитной волне

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

Представлены расчетные зависимости $U(x)$ электрического напряжения от координаты x на выходе магнитной головки, сканирующей магнитный носитель (МН) с записями магнитных полей, отраженных от одиночных пластин из алюминия толщиной 0,10 мм и 0,11 мм, а также полей, прошедших через эти пластины, находящиеся с зазором в составе массивного объекта. На МН воздействовали серией из четырех импульсов магнитного поля линейного индуктора. Полученные результаты позволяют повысить чувствительность и точность контроля толщины объекта, удельной электропроводности его материала и дефектов в нем.

Оперативность контроля, его наглядность и возможность определения свойств объектов одновременно на значительных площадях их поверхности, возможность визуального изучения информации об объекте и ее автоматической обработке может быть осуществлена применением пленочных флюкс-детекторов [1].

Достаточно высокой точности контроля удельной электропроводности двухслойных немагнитных объектов можно достигнуть импульсным вихретоковым методом [2]. Этот же метод применен, например, в [3], где представлены алгоритмы предварительной обработки вихретоковых сигналов при контроле теплообменных труб парогенераторов АЭС.

Во многих случаях для контроля дефектов сварных швов изделий из ферромагнитных материалов может быть успешно применен магнитографический метод, существенное развитие которого осуществлено еще в [4]. Контроль дефектов с записью на магнитный носитель (МН) в прошедшем через металл импульсном магнитном поле [5] дополняет информацию, полученную о свойствах объекта в отраженной электромагнитной волне.

Компьютерные методы нахождения распределений импульсных магнитных полей вблизи объектов из электропроводящих материалов [6] позволяют повышать точность экспериментальных исследований.

Повысить точность и чувствительность контроля свойств объектов из парамагнитных и диамагнитных металлов позволяют также полученные нами гистерезисная интерференция магнитного поля перемещаемого линейного индуктора [7] и гистерезисная интерференция (*HI*) перекрывающихся во времени импульсов магнитного поля [8]. Несмотря на достаточно высокие чувствительность и точность определения свойств объектов с применением *HI* в отраженной волне, требуется дальнейшее повышение качества контроля с применением метода гистерезисной интерференции.

Целью настоящей работы является повышение чувствительности и точности определения толщины металлических объектов, удельной электропроводности их материала и параметров дефектов в объектах. Поставленная цель достигается тем, что находят картину гистерезисной интерференции в прошедшей через металл волне и дополняют ею гистерезисную картину, полученную в отраженной электромагнитной волне.

При проведении расчетов в качестве первичного источника импульсного магнитного поля применен линейный индуктор, который находился на расстоянии 0,6 см от МН параллельно плоскости магнитного носителя. Зависимость тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля *H* линейного индуктора на поверхности магнитного носителя находили по формуле:

$$H = A / (x^2 + 0,36), \quad (1)$$

где A – коэффициент, А·см; x –расстояние до проекции оси индуктора на МН, см.

Величина H измеряется в А/см.

Исследования проведены с помощью магнитного носителя с арктангенсной характеристикой. Параметры гистерезисных ветвей этого носителя найдены авторами ранее [8].

На рис. 1 показаны расчетные зависимости $U(x)$ 1, 2, 3 и 4 с минимумами сигнала 5, 6, 7 и 8. Зависимости 1 и 2 построены в отраженном импульсном магнитном поле при толщине одиночных алюминиевых пластин соответственно 0,10 мм и 0,11 мм. Зависимости 3 и 4 получены в прошедшем поле при толщине алюминиевых пластин соответственно 0,11 мм и 0,10 мм, находящихся в составе массивного объекта из алюминия, то есть в зазоре между указанными пластинами и объектом, толщина которого больше длины электромагнитной волны четвертого импульса в алюминии.

Значения коэффициента A в формуле (1) для первого, второго, третьего и четвертого импульсов зависимости 1 составляли: $A_1 = 500$ А·см, $A_2 = -370$ А·см, $A_3 = 190$ А·см, $A_4 = -34,09$ А·см. Для зависимостей 2, 3 и 4 величины коэффициентов A_1 , A_2 и A_3 оставались прежними, а четвертые коэффициенты были равны соответственно $A_{42} = -35,12$ А·см, $A_{43} = -41,29$ А·см, $A_{44} = -40,716$ А·см.

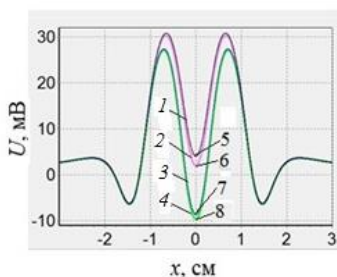


Рис. 1. Расчетные зависимости $U(x)$:
1, 2 – в отраженном;
3, 4 – в прошедшем поле с минимумами
сигнала 5, 6, 7 и 8

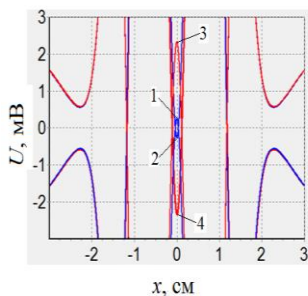


Рис. 2. Расчетные зависимости $U(x)$ в
отраженном поле с пиками
сигнала 1–4

Исходя из результатов проведенных нами ранее исследований [8] нашли такие параметры четвертого импульса, при которых увеличению толщины одиночной алюминиевой пластины с 0,10 мм до 0,11 мм соответствует увеличение напряженности суммарного магнитного поля вблизи

поверхности пластины с 94,7 А/см до 97,6 А/см (в 1,031 раза) при величине напряженности магнитного поля первичного источника 66 А/см и указанном времени нарастании импульса. Таким образом, по гистерезисным ветвям магнитного носителя определили величину коэффициентов A_{41} и A_{42} . На основании проведенных нами ранее исследований распределения напряженности импульсного магнитного поля в узких зазорах между металлическими объектами нашли, что увеличению толщины алюминиевой пластины в составе массивного объекта с 0,10 мм до 0,11 мм соответствует уменьшение напряженности суммарного магнитного поля в зазоре вблизи поверхности пластины с 114,7 А/см до 113,1 А/см (в 1,014 раза) при указанной напряженности первичного магнитного поля. Так определили величину коэффициентов A_{43} и A_{44} . Напомним, что речь идет о максимальной напряженности магнитного поля. Разработанные методы контроля позволяют значительно повысить чувствительность и точность определения свойств объектов.

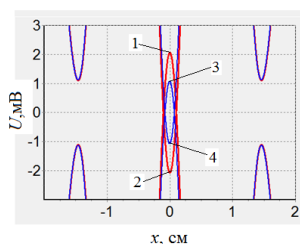


Рис. 3. Расчетные зависимости $U(x)$ в прошедшем поле с пиками сигнала $I-4$

увеличению толщины пластины в 1,1 раза размах сигнала увеличился в 8 раз вместо увеличения сигнала в 1,087 раза без использования НИ (см. размах сигнала зависимости 1 и минимумы 5 и 6 на рис. 1) и вместо увеличения напряженности магнитного поля в 1,031 раза.

Далее проведем смещение зависимостей 3 и 4 на рис.1 на 7,5 мВ также с построением графиков зеркальных функций. В результате получим новые зависимости с пиками сигналов $I-4$ на рис. 3. Размах сигнала $I-2$ равен 4,1 мВ и соответствует алюминиевой пластине толщиной 0,10 мм, а размах $3-4$ составляет около 2,1 мВ и соответствует пластине толщиной 0,11 мм. Это значит, что при увеличении толщины пластины в 1,1 раза размах сигнала уменьшился почти в 2 раза вместо уменьшения сигнала в 1,037 раза без использования НИ (см. размах сигнала зависимости 4 и минимумы 7 и 8 на рис. 1) и вместо уменьшения напряженности магнитного поля в 1,014 раза. В обоих случаях использовался один и тот же импульс магнитного поля.

Заметим, что изображения таких фигур, которые показаны на рис. 2 авторы получают при непосредственном считывании информации с преобразователя магнитного поля. Для этого не следует строить графики зеркальных функций. Поэтому появляется возможность значительного увеличения чувствительности метода.

Теоретически благодаря операциям, проделанным с табличными данными (и данными в виде функций), можно неограниченно повышать чувствительность метода при расчетах, базирующихся на экспериментальных данных. Что же касается погрешностей, возникающих при экспериментальных исследованиях, то они зависят от ряда причин. В том числе они определяются приведенной величиной отклонения используемого прибора на данном диапазоне измерения. Как было показано в предыдущих работах авторов, разработанным методом можно определять величину удельной электропроводности материалов и выявлять дефекты в них.

Осуществление гистерезисной интерференции в прошедшей волне дополняет информацию о свойствах контролируемого объекта и позволяет повысить чувствительность и точность определения толщины металлических объектов, удельной электропроводности их материала и параметров дефектов в объектах.

Литература

1. Pavlyuchenko, V. V. Using Film Flux Detectors to Determine Properties of Conducting and Magnetic Objects / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russ. J. Nondetr. Test. – 2018. – Vol. 54, № 1. – P. 70–76.
2. Терехин, И.В. Контроль удельной электропроводности двухслойных немагнитных объектов импульсным вихретоковым методом / И. В. Терехин, Е. А. Славинская // Дефектоскопия. – 2019. – № 4. – С. 30–36.
3. Жданов, А. Г. Алгоритмы предварительной обработки вихретоковых сигналов при контроле теплообменных труб парогенераторов АЭС / А. Г. Жданов, Е. Г. Шукис, В. П. Лунин, А. А. Столяров // Дефектоскопия. – 2018. – № 4. – С. 54–64.
4. Козлов, В. С. Техника магнитографической дефектоскопии / В. С. Козлов. – Мн.: Вышэйшая школа, 1976. – 256 с.
5. Pavlyuchenko, V. V. Testing for Defects in Pulsed Magnetic Field Transmitted Through Metal // V. V. Pavlyuchenko / Russian Journal of Nondestructive Testing, 2021. – Vol. 57, № 10. – P. 856–864.
6. Pavlyuchenko, V. V. Computer-assisted methods for finding pulsed magnetic-field distributions near current-conducting objects / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich, V. L. Pivovarov // Russ. J. Nondetr. Test. – 2016. – Vol. 52, № 3. – P. 166–174.

7. Павлюченко, В. В. Гистерезисная интерференция магнитного поля перемещаемого линейного индуктора / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Дефектоскопия. – 2020. – № 1. – С. 51–60.

8. Pavlyuchenko, V. V. Hysteretic Interference of Time-Overlapping Magnetic Field Pulses / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2019. – Vol. 55, № 12. – P. 949–956.

УДК 620.130

Расчеты распределений электрического сигнала преобразователя магнитного поля

Павлюченко В. В., Дорошевич Е. С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Представлены расчетные зависимости $U(x)$ электрического напряжения от координаты x на выходе магнитной головки, сканирующей магнитный носитель (МН) с записями магнитных полей. На МН воздействовали тремя импульсами магнитного поля одного и двух линейных индукторов. Расчеты проведены в отраженной волне. Получена гистерезисная интерференция импульсного магнитного поля, позволяющая повысить оперативность контроля толщины объекта, удельной электропроводности его материала и дефектов в нем.

Расчеты распределений электрического сигнала при гистерезисной интерференции приведены в [1–3]. Так, в [1] описана гистерезисная интерференция магнитного поля перемещаемого линейного индуктора, а компьютерные методы нахождения распределений импульсных магнитных полей вблизи объектов из электропроводящих материалов изложены в [2]. Повысить точность определения свойств объектов позволяют также проведенные авторами ранее расчеты распределений остаточных магнитных полей при гистерезисной интерференции импульсного магнитного поля [3].

Отметим расчетные методы, не относящиеся к гистерезисной интерференции. Это математическое моделирование определения геометрических параметров внутренних дефектов различных форм методом магнитной дефектоскопии [4] и компьютерный анализ конфигурации магнитных полей поверхностных дефектов сплошности конечных размеров в ферромагнитной пластине ограниченной протяженности методом пространственных