

ля толщины, удельной электропроводности σ , магнитной проницаемости μ металлических объектов и дефектов сплошности в них.

Литература

1. Козлов, В. С. Техника магнитографической дефектоскопии / В. С. Козлов. – Мн.: Вышэйшая школа, 1976. – 256 с.

2. Суханов, Д. Я. Магнитоиндукционная томография электрических схем и приборов / Д. Я. Суханов, Е. С. Совпель // Известия высших учебных заведений. – 2015. – Т. 58. – № 10/3. – С. 73–75.

3. Павлюченко, В. В. Гистерезисная интерференция перекрывающихся во времени импульсов магнитного поля / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Дефектоскопия. – 2019. – № 12. – С. 56–63.

4. Pavlyuchenko, V. V. Using Film Flux Detectors to Determine Properties of Conducting and Magnetic Objects / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2018. – vol. 54. – no. 1. – P. 70–76.

5. Павлюченко, В. В. Компьютерные методы нахождения распределений импульсных магнитных полей вблизи объектов из электропроводящих материалов / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич, В. Л. Пивоваров // Дефектоскопия. – 2016. – № 3. – С. 48–56.

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

7. Pavlyuchenko, V. V. Calculation of residual magnetic-field distributions upon hysteretic interference of a pulsed magnetic field / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich, V. L. Pivovarov // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2015. – vol. 51. – no. 1. – P. 8–16.

8. Ферстер, Ф. Неразрушающий контроль методом магнитных полей рассеяния. Теоретические и экспериментальные основы выявления поверхностных дефектов конечной и бесконечной глубины. / Ф. Ферстер // Дефектоскопия. – 1984. – № 12. – С. 13–18.

9. Астахов, В. И. К вопросу о диагностике пластины с трещиной вихрековым методом. / В. И. Астахов, Э. М. Данилина, Ю. К. Ершов // Дефектоскопия. – 2018. – № 3. – С. 39–49.

УДК 620.130

Влияние параметров преобразователей магнитного поля на результаты контроля свойств объектов

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

На основании разработанных методов гистерезисной интерференции получены зависимости $U(t)$ электрического напряжения, снимаемого с преобразователя магнитного поля, от времени t при записи импульсных магнитных полей на совмещенные дискретный датчик магнитного поля (ДДМП) и сплошной магнитный носитель (МН). На МН с образцами из алюминиевой фольги с дефектами воздействовали серией из трех разнополярных импульсов магнитного поля. Исследовано влияние ДДМП на результаты контроля с использованием сплошного МН. Показано, что запись полей дефектов и отпечатков ДДМП на сплошной МН позволяет повысить точность контроля.

Для определения свойств металлических объектов нами используются преобразователи магнитного поля, изготовленные из магнитных носителей разного типа, магнитооптических пленок, пленочных флюкс-детекторов, а также преобразователи Холла [1, 2]. Исследования проводятся преимущественно в импульсных магнитных полях со временем нарастания импульсов от 1 мкс до 0,1 с. При этом проводится анализ разных методов контроля: магнитографического, магнитооптического, вихрекового, магнитоимпульсного [3, 4]. Для определения свойств объектов из электропроводящих материалов в импульсных магнитных полях используется полученное нами явление гистерезисной интерференции [1, 5–7]. При проведении исследования нами учтены результаты работ с применением магнитного носителя [8], а также преобразователя Холла и катушек индуктивности [9].

Каждый из перечисленных выше преобразователей вносит изменения в распределение тангенциальной и нормальной составляющих напряженности магнитного поля. Кроме того, при проведении контроля с использованием одновременно нескольких преобразователей они могут оказывать влияние друг на друга и вносить погрешности в результаты измерений. Это относится к преобразователям как одного типа, так и к преобразователям, работа которых основана на разных физических принципах. Таким образом, возникает необходимость исследования влияния параметров преобразователей магнитного поля на результаты контроля свойств объектов.

Целью настоящей работы является повышение чувствительности и точности определения параметров дефектов в металлических объектах, а также их толщины и удельной электропроводности σ материала. Поставленная цель достигается тем, что решают задачу определения влияния дискретного датчика магнитного поля (ДДМП) на точность выявления дефектов сплошности в металлических образцах с применением сплошного датчика, изготовленного из магнитного носителя (МН). При этом также решают задачу определения оптимальных параметров импульсных магнитных полей при одновременной записи локальных полей дефектов на дискретный и сплошной МН и определения величины напряженности маг-

нитного поля на поверхности объекта по амплитуде отпечатков ДДМП на сплошном МН.

В данной работе исследовано влияние параметров преобразователей магнитного поля, изготовленных из одного МН, на результаты контроля. Проведены исследования и определены условия, при которых это влияние может быть использовано для повышения качества контроля объектов.

Рассмотрим влияние ДДМП, изготовленного из магнитных полос магнитного носителя [1], на результаты контроля свойств алюминиевой пластины с использованием сплошного МН и возможность использования результатов взаимодействия сплошного и дискретного датчиков друг с другом. Исследуемый образец состоял из двух прижатых друг к другу пластин алюминиевой фольги толщиной 0,06 мм каждая. Нижняя (дальняя от источника поля) пластина имела дефект сплошности в виде отверстия диаметром 2,5 мм. Датчики из сплошного МН и ДДМП установили на поверхности пластины без дефекта и воздействовали на них импульсом магнитного поля сложной формы, состоящим из трех действующих друг за другом без задержки однополярных импульсов с чередующейся полярностью. Время нарастания импульсов t_{\max} изменялось в интервале (0,5–20) мкс. В качестве источника импульсного магнитного поля использовали плоский индуктор. Записанную на сплошном МН информацию воспроизвели магнитной головкой (МГ) и получили зависимость 1 (рис. 1) величины электрического напряжения $U(t)$, снимаемого с нее, от времени развертки t . При этом отрезку времени развертки, равному 1 мс, соответствовала длина участка x , равная 1 см.

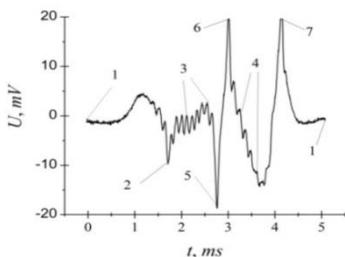


Рис. 1. Зависимости $U(t)$ для образца из алюминия с внутренним дефектом: 1 – $U(t)$ для сплошного МН вне дефекта; 2 – сигнал временной отметки; 3, 4 – сигналы отпечатков ДДМП; 5, 6 – пики $U(t)$ поля дефекта; 7 – пик $U(t)$ поля фона

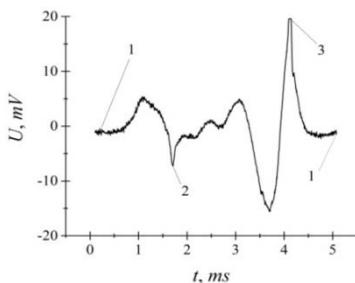


Рис. 2. Зависимости $U(t)$ поля фона для эталонного образца из алюминия без дефектов: 1 – $U(t)$ для сплошного МН; 2 – сигнал временной отметки; 3 – пик $U(t)$ поля фона

На рис. 1 показана зависимость $U(t)$, снятая со сплошного МН, для образца из алюминия с указанным внутренним дефектом в виде отверстия диаметром около 2,5 мм и сигнал временной отметки 2. Здесь же изображены сигналы 3 и 4, полученные при сканировании магнитной головкой отпечатков ДДМП, прижатого к сплошному МН при воздействии на датчики с образцом импульсом магнитного поля, а также пики 5 и 6 $U(t)$ поля дефекта и пик 7 $U(t)$ поля фона. Из рис. 1 следует, что найдены условия, при выполнении которых ДДМП оставляет отпечатки остаточной намагниченности на сплошном МН в момент воздействия импульсом магнитного поля.

Наличие сигналов этих отпечатков позволяет повысить точность измерений и точность контроля геометрических параметров и физических свойств металлических объектов, в том числе величины σ .

Для выделения полезного сигнала из полного сигнала нашли зависимость $U(t)$ поля фона (рис. 2) для указанного плоского индуктора на эталонном бездефектном образце. Синхронизацию зависимостей при проведении алгебраических операций осуществляли при совпадении сигналов временных отметок 2 (1,72 мс) на рис. 1 и рис. 2.

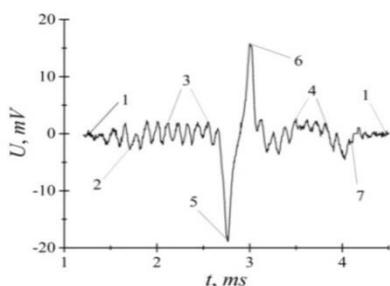


Рис. 3. Зависимости $U(t)$ для образца из алюминия:

- 1 – разностная зависимость $U(t)$ для сплошного МН вне дефекта;
- 2 – сигнал временной отметки;
- 3, 4 – сигналы отпечатков ДДМП;
- 5, 6 – пики $U(t)$ поля дефекта;
- 7 – участок, соответствующий пику $U(t)$ поля фона

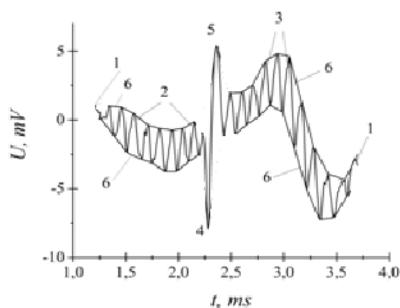


Рис. 4. Зависимости $U(t)$ для образца из алюминия:

- 1 – зависимость $U(t)$ для сплошного МН вне дефекта;
- 2, 3 – сигналы отпечатков ДДМП;
- 4, 5 – пики $U(t)$ поля дефекта;
- 6 – огибающие сигналов отпечатков ДДМП

В результате вычитания зависимости $U(t)$ поля фона, показанной на рис. 2, из зависимости $U(t)$ полного сигнала, изображенной на рис. 1, получили разностную зависимость $U(t)$ (рис. 3) полезного сигнала, вклю-

чающую $U(t)$ поля дефекта 5, 6 и $U(t)$ отпечатков ДДМП 3, 4. При этом пик 7 на рис. 1 полностью скомпенсирован уровнем фона 7 на рис. 2 и соответствующая точка на рис. 3 (3,005 мс) имеет нулевой уровень сигнала. Из графика на рис. 3 определяем координаты пиков сигналов поля дефекта: пик 5 (2,765 мс, -18,906 мВ), пик 6 (3,005 мс, 15,313 мВ).

Отсюда находим отрезок времени между пиками сигнала $3,005 - 2,765 = 0,24$ мс, что соответствует диаметру дефекта 2,5 мм. Определяем амплитуды сигналов отпечатков ДДМП, находим величину напряженности магнитного поля на поверхности объекта, корректируем амплитуду воздействующего импульса и выводим преобразователь магнитного поля на участок его характеристики с максимальной чувствительностью.

Как видно из рис. 3, амплитуда сигнала отпечатков ДДМП изменяется в пределах от 0,5 мВ до 3 мВ. Соответствующая напряженность магнитного поля может быть определена с учетом параметров гистерезисных ветвей остаточного намагничивания магнитного носителя.

Ниже представлены результаты исследований точности и чувствительности разработанного метода при контроле образца с существенно меньшими размерами подповерхностного дефекта. На рис. 4 показаны зависимости $U(t)$ для образца из алюминия толщиной 0,07 мм, составленного из пластин алюминиевой фольги толщиной 0,01 мм (ближняя пластина к источнику магнитного поля и МН) и пластины толщиной 0,06 мм с дефектом

в виде отверстия диаметром около 0,8 мм.

На рис. 4 изображена зависимость 1 $U(t)$, полученная на сплошном МН вне дефекта и вне сигналов отпечатков ДДМП, а также показаны выделенные сигналы 2 и 3 отпечатков ДДМП на сплошном МН и выделенные пики 4 и 5 с огибающими линиями 6 сигналов отпечатков ДДМП.

В результате вычитания сигнала фона из общего сигнала вместо графика, изображенного на рис. 4 получаем график на рис. 5, где показана разностная (без сигналов

поля фона) зависимость 1 $U(t)$ на сплошном МН вне дефекта и вне сигналов отпечатков ДДМП, а также выделенные сигналы отпечатков ДДМП на сплошном МН 2 и 3 и выделенные пики $U(t)$ сигналов поля дефекта 4 и 5.

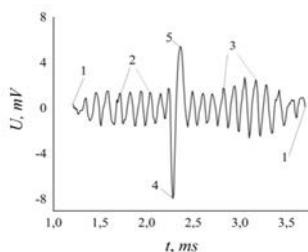


Рис. 5. Зависимости $U(t)$ для образца из алюминия с внутренним дефектом: 1 – разностная зависимость $U(t)$ для сплошного МН вне дефекта; 2, 3 – выделенные сигналы отпечатков ДДМП; 4, 5 – выделенные пики $U(t)$ поля дефекта

Из графика на рис. 5 определяем координаты пиков сигналов поля дефекта: пик 4 (2,28 мс, $-7,9375$ мВ), пик 5 (2,36 мс, $5,4375$ мВ). Отсюда находим отрезок времени между пиками сигнала $2,36 - 2,28 = 0,8$ мс, что соответствует диаметру дефекта $0,8$ мм.

Амплитуда сигнала отпечатков ДДМП составляет около 3 мВ. Величина напряженности магнитного поля на поверхности указанного образца из алюминия может быть определена с учетом параметров гистерезисных ветвей остаточного намагничивания магнитного носителя.

Таким образом, определено влияние дискретного датчика магнитного поля при записи полей дефектов в металлических образцах на сплошной датчик магнитного поля, изготовленный из МН. Полученные результаты исследования использованы для определения оптимальных параметров импульсных магнитных полей при одновременной записи локальных полей дефектов на дискретный и сплошной магнитный носитель. Показано, что величина напряженности магнитного поля на поверхности объекта может быть определена по амплитуде отпечатков ДДМП на сплошном МН.

Литература

1. Павлюченко, В. В. Расчет распределений остаточных магнитных полей при гистерезисной интерференции импульсного магнитного поля / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич, В. Л. Пивоваров // Дефектоскопия. – 2015. – № 1. – С. 11–20.
2. Pavlyuchenko, V. V. Using Film Flux Detectors to Determine Properties of Conducting and Magnetic Objects / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2018. – Vol. 54. – no. 1. – P. 70–76.
3. Ферстер, Ф. Неразрушающий контроль методом магнитных полей рассеяния. Теоретические и экспериментальные основы выявления поверхностных дефектов конечной и бесконечной глубины. / Ф. Ферстер // Дефектоскопия. – 1984. – № 12. – С. 13–18.
4. Козлов, В. С. Техника магнитографической дефектоскопии / В. С. Козлов. – Мн.: Вышэйшая школа, 1976. – 256 с.
5. Павлюченко, В. В. Гистерезисная интерференция магнитного поля перемещаемого линейного индуктора / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Дефектоскопия. – 2020. – № 1. – С. 51–60.
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 // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2016. – Vol. 52. – no. 3. – P. 166–174.

7. 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.

8. Грузинцев, А. А. Самосогласованный расчет магнитного поля для задач магнитной дефектоскопии. I. Исходная модель для расчета поля магнитной ленты, намагниченной от проводника с током / А. А. Грузинцев, С. П. Михайлов // Дефектоскопия. – 2011. – № 2. – С. 22–30.

9. Garcia-Martin J. Comparative Evaluation of Coil and Hall Probes in Hole Detection and Thickness Measurement on Aluminum Plates Using Eddy Current Testing / J. Garcia-Martin, I. Gomez-Gilb // Journal of Nondestructive Testing. – 2013. – Vol. 49. – no. 8. – С. 482–491.

УДК 620.130

Распределения отраженных и прошедших через металл импульсных магнитных полей локального источника

Дорошевич Е. С., Павлюченко В. В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Представлены зависимости $U(t)$ электрического напряжения от времени t на выходе магнитной головки, сканирующей магнитный носитель (МН) с записями магнитных полей, прошедших через пластины из алюминия толщиной от 0,18 мм до 0,28 мм. На МН воздействовали четырьмя импульсами магнитного поля линейного индуктора. Получена гистерезисная интерференция импульсного магнитного поля в прошедшей волне, позволяющая повысить точность контроля толщины объекта, удельной электропроводности его материала и дефектов в нем.

Авторами проводятся теоретические и экспериментальные работы по контролю толщины, удельной электропроводности, магнитной проницаемости металлических объектов, а также дефектов сплошности в них с применением пленочных и точечных преобразователей магнитного поля [1, 2, 4, 5, 7]. Такими преобразователями являются магнитные носители, магнитооптические пленки и пленочные флюкс-детекторы, а также преобразователи Холла.

Для повышения точности контроля указанных свойств объектов используется полученное авторами явление гистерезисной интерференции импульсного магнитного поля. Теоретические расчеты распределений остаточных магнитных полей при гистерезисной интерференции описаны в [1, 2] для случая перекрывающихся во времени импульсов магнитного по-