

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-

ля первичного источника, а также при перемещении линейного индуктора над поверхностью исследуемого металлического образца с прижатым к нему магнитным носителем.

При проведении настоящего исследования учтены также результаты работ по магнитной интроскопии, например, [3], где использована решетка датчиков магнитного поля. Заметим, что такая решетка может быть изготовлена из преобразователей Холла или из других точечных преобразователей и использована в методах, разрабатываемых авторами.

Теоретические расчеты распределений остаточных магнитных полей при гистерезисной интерференции импульсного магнитного поля представлены в [4, 5]. Для определения толщины металлических покрытий может быть применен также магнитодинамический метод контроля [6].

Использование пленочного флюкс-детектора для определения физических свойств электропроводящих объектов описано в [7]. Современные тенденции развития вихретоковой дефектоскопии и дефектометрии, при применении которой воздействие на объекты осуществляется переменными и импульсными магнитными полями, как и в разрабатываемых авторами методах контроля, рассмотрены в [8].

Целью настоящей работы является повышение 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 сквозь объект волне.

Как показали наши исследования, использование гистерезисной интерференции при контроле свойств объектов из электропроводящих материалов в отраженном от поверхности металла импульсном магнитном поле повышает точность определения свойств объектов в несколько раз.

Однако в определенных случаях требуется использовать преимущества контроля с использованием гистерезисной интерференции в прошедшей электромагнитной волне, а именно, определить оптимальные параметры импульсов магнитного поля для выявления дефектов в прошедшей волне, устранить влияние изображения индуктора и осуществить открытый доступ к поверхности МН (магнитооптической пленки, флюкс-детектора и матриц других преобразователей).

На рис. 1 изображена зависимость 1 величины электрического напряжения $U(t)$ от времени развертки t цифрового осциллографа, снимаемого с индукционной магнитной головки, сканирующей магнитный носитель с записями магнитных полей. Эти записи получены в результате прохождения четырех импульсов магнитного поля линейного индуктора через пластину из алюминия толщиной 0,22 мм. Время нарастания импульсов составляло $t_{\max 1} = 7,0 \cdot 10^{-6}$ с, $t_{\max 2} = 2,0 \cdot 10^{-6}$ с, $t_{\max 3} = 7,0 \cdot 10^{-6}$ с, $t_{\max 4} =$

$2,0 \cdot 10^{-6}$ с, а величина коэффициентов A в (1) этих импульсов была пропорциональна соответственно 10 В, -3,5 В, 4 В, -1,3 В.

Изображение получено для дискретного датчика магнитного поля (ДДМП) с шагом 1,2 мм. Здесь также показан пик напряжения 2, соответствующий проекции оси индуктора на МН. Этот пик соответствует величине электрического напряжения 6,5 мВ. Пики 3 на рис. 1, размах которых составляет порядка 2 мВ, показывают, что участок МН под осью индуктора подвергся перемагничиванию в направлении, обратном первоначальному.

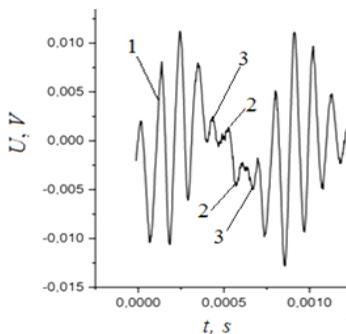


Рис. 1. Зависимость $U(t)$, снимаемого с индукционной магнитной головки, сканирующей магнитный носитель с записями магнитных полей, прошедших через пластину из алюминия толщиной 0,22 мм.

Таким образом, согласно обозначениям, принятым в работах авторов, максимум 2 является центральным максимумом второго порядка. Одной миллисекунде развертки осциллографа соответствует отрезок магнитного носителя длиной 1,1 см.

Измерения проведены на алюминиевой станине. Толщина этой станины была на порядок больше длины волны импульсного магнитного поля с максимальным временем нарастания, распространяющегося в алюминиевой пластине. Гистерезисная интерференция может быть получена как с использованием металлической

станины, так и без нее. В данном случае наличие такой станины позволило уменьшить амплитуды воздействующих полей.

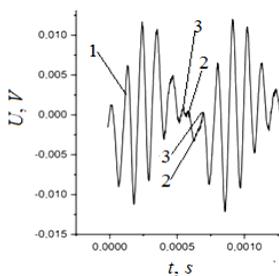


Рис. 2. Зависимость $U(t)$ для пластины из алюминия толщиной 0,24 мм

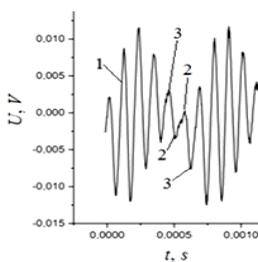


Рис. 3. Зависимость $U(t)$ для пластины из алюминия толщиной 0,28 мм

На рис. 2, рис. 3 и рис. 4 изображены зависимости 1 величины электрического напряжения $U(t)$ от времени развертки t цифрового осциллографа, снимаемого с индукционной магнитной головки, сканирующей магнитный носитель с записями магнитных полей, прошедших через пластины из алюминия толщиной соответственно 0,24 мм, 0,28 мм и 0,18 мм. Здесь также показаны пики напряжения 2, аналогичные изображенным на рис. 1 пикам и соответствующие положению проекции линейного индуктора на МН. Этим пикам соответствуют размахи сигнала 3,5 мВ, 3,0 мВ и 15 мВ. Пики 3 и 4 позволяют определить порядок центральных максимумов сигнала. Так, максимумы 2 являются центральными максимумами второго порядка для пластин толщиной 0,18 мм, 0,22 мм и 0,24 мм. Максимум 2 для пластины толщиной 0,28 мм является центральным максимумом первого порядка, так как участок МН под осью индуктора не был перемагничен в направлении, обратном первоначальному. Таким образом, максимум 2 для пластины толщиной 0,28 мм имеет отрицательный знак, а разность максимумов при увеличении толщины пластин с 0,24 мм до 0,28 мм составляет 6,5 мВ. Тогда с учетом порядка максимумов, а, значит, с учетом направления намагничивания, реальные значения центральных максимумов, позволяющих определять толщину пластин, составляют 15 мВ (0,18 мм), 6,5 мВ (0,22 мм), 3,5 мВ (0,24 мм) и $-3,0$ мВ (0,28 мм). Чувствительность измерения составляет около 180 мВ/мм.

В случае определения толщины металлических объектов и их физических свойств в отраженной волне основными параметрами импульсов магнитного поля являются их амплитуда, время нарастания и форма переднего фронта волны.

При измерениях в прошедшей через металл волне гистерезисная интерференция определяется не только амплитудой падающей волны, но и амплитудой волн, дошедших до точек интерференции. Поэтому авторами предложено, в частности, использовать разные формы импульсов магнитного поля с одинаковыми формами переднего и заднего фронтов.

Как показали исследования, для получения гистерезисной интерференции в прошедшей волне может быть использован синусоидальный импульс. В этом случае при разрыве электрической цепи возникают выбросы обратной полярности в момент времени, равный половине периода, продолжающие воздействие на металлический образец с приложенным магнитным носителем.

В отраженной волне мы используем этот факт для проведения точных измерений, рассчитывая оптимальные величины амплитуды и времени нарастания выброса, а также форму его переднего фронта. Как показали

исследования, чувствительность измерений без использования явления гистерезисной интерференции составляла порядка 70 мВ/мм.

Таким образом, разработанный метод позволяет повысить чувствительность измерений в 2 с лишним раза. При этом погрешности измерений уменьшились более чем в пять раз, в том числе за счет увеличения отношения измеряемой амплитуды электрического сигнала к диапазону измерений.

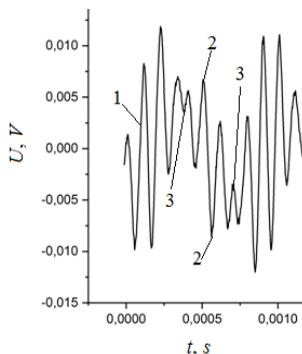


Рис. 4. Зависимость $U(t)$ для пластины из алюминия толщиной 0,18 мм

Этот метод позволяет также найти оптимальную величину напряженности магнитного поля, прошедшего через объект, вблизи его поверхности, дальней от источника импульсного магнитного поля для вывода магнитного носителя на участок характеристики с максимальной чувствительностью и повысить точность определения толщины объекта, удельной электропроводности его материала и параметров дефектов сплошности в объекте.

Контроль в прошедшей электромагнитной волне позволяет устранить влияние изображения индуктора и осуществить открытый доступ к

поверхности контролируемого объекта и приложенного к нему магнитного носителя или других преобразователей магнитного поля (магнитооптической пленки, флюкс-детектора и матриц других преобразователей) на обратной от источника магнитного поля стороне объекта.

Запись распределений магнитных полей в пространстве на магнитный носитель и другие пленочные детекторы осуществляется без электромагнитных наводок и позволяет получать мгновенные распределения информационных импульсных магнитных полей на значительных площадях поверхности объекта (десятки квадратных сантиметров и более) одновременно.

Литература

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

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

3. Суханов, Д. Я. Магнитная интроскопия с использованием решетки датчиков магнитного поля / Д. Я. Суханов, Е. С. Берзина // Известия высших учебных заведений: Физика. – 2013. – Т. 56. – № 8/2. – С. 23–26.

4. 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.

5. 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.

6. 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. 13–17.

7. 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.

8. Шубочкин, А. Е. Современные тенденции развития вихретоковой дефектоскопии и дефектометрии / А. Е. Шубочкин, А. Г. Ефимов // Контроль. Диагностика. – 2014. – № 3. – С. 68–73.