

В.В. ПАВЛЮЧЕНКО, Е.С. ДОРОШЕВИЧ  
УО «БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»  
Минск, Беларусь

Как показали исследования авторов по взаимодействию импульсного магнитного поля с электропроводящими объектами [1-4], пространственно-временные распределения напряженности магнитного поля вблизи объекта из электропроводящего материала позволяют определять размеры объекта в плоскости, удельную электропроводность его материала  $\sigma$ , ее распределение в объекте, толщину и разнотолщинность объекта, а также параметры дефектов сплошности в нем. При этом измерения напряженности магнитного поля проводили с помощью магнитного носителя, магнитооптической пленки и преобразователей Холла.

Для обеспечения высокой надежности контроля свойств объекта выводили преобразователи магнитного поля на рабочие участки зависимости величины их выходных параметров от величины напряженности магнитного поля  $H$ : на линейные участки зависимости величины остаточной намагниченности магнитного носителя, величины смещения доменных границ магнитооптической пленки и величины выходного напряжения преобразователей Холла от  $H$ . Кроме того, надежность контроля повышали за счет управления параметрами воздействующих магнитных полей. Так, при контроле в моменты времени  $t_{i \max}$ , соответствующие максимумам напряженности первичного магнитного поля  $H_1(x, y, t_{i \max})$ , обеспечивали одну и ту же величину напряженности суммарного магнитного поля  $H(x, y, t_{i \max})$  вблизи поверхности объекта из однородного материала для всех времен  $t_{i \max}$  нарастания импульсов поля. Эту задачу решали путем нахождения функций  $H_1(x, y, t_{i \max})$  первичного источника с учетом зависимостей напряженности магнитного поля вторичного источника  $H_2(x, y, t_{i \max})$  от  $t_{i \max}$ ,  $\sigma$  и толщины объекта  $d$ .

Исследования [1, 3] показали, что зависимость величины максимальной тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля индукционных токов  $H_{itsm}$  от толщины объекта  $d$  на его поверхности носит на начальном участке линейный характер

$$H_{itsm} = k \cdot d, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент, зависящий от  $\sigma$  и  $t_{i \max}$ . Предельная толщина объекта  $d_{\text{пред}}$ , при которой выполняется соотношение (1) равна

$$d_{\text{пред}} = p \cdot t_{i \max}, \quad (2)$$

где  $p$  – коэффициент, зависящий от  $\sigma$ .

Величина максимальной тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля на поверхности объекта  $H_{itm}$  при величине напряженности воздействующего магнитного поля  $H_{itom}$  равна:

$$H_{itm} = H_{itom} + H_{itsm}. \quad (3)$$

Из (1) и (3) находили величину напряженности воздействующего поля, обеспечивающую одну и ту же величину  $H_{itm} = const$  на поверхности объекта при  $d \leq d_{пред}$ :

$$H_{itom} = H_{itm} - k \cdot d. \quad (4)$$

При  $d > d_{пред}$  зависимость величины  $H_{itsm}$  от  $d$  носит экспоненциальный характер и описывается найденной эмпирической формулой:

$$H_{itsm} = k_{is} \cdot H_{itom} (1 - e^{-bd}), \quad (5)$$

где  $b$  – коэффициент, зависящий от  $\sigma$  и  $t_{i \max}$ ,  $k_{is}$  – коэффициент, равный отношению величин максимальных тангенциальных составляющих магнитного поля индукционных токов  $H_{itsm}$  и воздействующего поля  $H_{itom}$  при толщине объекта  $d$ , стремящейся к бесконечности:

$$k_{is} = \frac{H_{itsmd \rightarrow \infty}}{H_{itom}}. \quad (6)$$

Используя (5) и (3), находили напряженность воздействующего поля, обеспечивающего одинаковую  $H_{itm} = const$  на поверхности объекта из однородного материала при разных временах нарастания воздействующего поля  $t_{i \max}$ :

$$H_{itom} = H_{itm} [1 + k_{is} (1 - e^{-bd})]^{-1}. \quad (7)$$

Условия применения формул (4) и (7) в исследованном диапазоне магнитных полей соответствует величинам полей:

$$H_{itsm} \leq \frac{k_{is} \cdot H_{itom}}{e}, \quad (8)$$

$$H_{itsm} > \frac{k_{is} \cdot H_{itom}}{e}. \quad (9)$$

Управление импульсными магнитными полями осуществлено в способе магнитооптического контроля магнитного электропроводящего материала [5]. На материал с приложенной к нему магнитооптической пленкой воздействовали импульсами магнитного поля с разными временами нарастания  $t_{i \max}$  и по изображениям доменной структуры пленки, соответствующим распространению магнитного поля на разные глубины в материал, находили распределение удельной электропроводности  $\sigma$  и параметры дефектов сплошности по слоям материала. Для обеспечения надежности контроля выводили доменную структуру магнитооптической пленки в моменты контроля в одно и то же состояние в рабочем диапазоне полей. Зна-

чит, в моменты времени  $t = t_{i \max}$  для каждого импульса величина максимальной тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля вблизи поверхности однородного материала  $H_{itm}$  была одной и той же  $H_{itm} = \text{const}$ .

Таким образом, воздействуя на материал одиночными импульсами магнитного поля в полволны с разными временами нарастания импульсов  $t_{i \max}$  и величинами полей  $H_{itm}$ , определяемыми из (4) и (7), находили соответствующие им изображения доменной структуры магнитооптической пленки в моменты времени  $t_{i \max}$ , накладывали изображения друг на друга и находили распределение удельной электропроводности  $\sigma$  материала и его дефектов по глубине. Для однородного материала изображение доменной структуры магнитооптической пленки для всех импульсов было одинаковым. Если же в материале имелись дефекты сплошности или участки с отличной величиной удельной электропроводности, то и величина поля  $H_{itm}$  над ними была другой, а, значит, и доменная структура имела другое распределение. Глубину залегания этих неоднородностей материала находили по времени  $t_{i \max}$  импульса, при воздействии которым начинали проявляться неоднородности доменной структуры магнитооптической пленки. Наиболее точные результаты применения указанного способа были получены при использовании в качестве датчика преобразователя магнитного носителя.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Павлюченко, В. В.** Взаимодействие импульсных электромагнитных полей с поверхностями металлических образцов / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Вестник БНТУ. – 2006. – № 4. – С. 89–95.
2. **Павлюченко, В. В.** Зависимость величины максимальной напряженности импульсного магнитного поля на поверхности металлического образца от его толщины / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Материалы IV международной науч.-техн. конф. БНТУ. – Минск, 2006. – Т.2. – С. 346–349.
3. **Павлюченко, В. В.** Законы распределения напряженности импульсного магнитного поля вблизи электропроводящих материалов / В. В. Павлюченко // Вестник БНТУ. – 2007. – № 3. – С. 66–71.
4. **Павлюченко, В. В.** Зависимость результатов пространственно-временных измерений напряженности импульсов магнитного поля от геометрических размеров металлических образцов, их электропроводности и параметров импульсов поля / В. В. Павлюченко // Материалы II международной науч.-техн. конф. БНТУ. – Минск, 2004. – Т.2. – С. 338–340.
5. **Пат. 10440 Респ. Беларусь, МПК C2 ВУ, G 01 N 27/00.** Способ магнитооптического контроля магнитного электропроводящего материала / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич; заявитель БНТУ – № а 20060200; заявл. 09.03.06; опубл. 30.04.08 // Афіцыйны бюлетэнь / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 2. – С. 97.