

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **22070**

(13) **С1**

(46) **2018.08.30**

(51) МПК

G 01N 27/72 (2006.01)

**(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ,
МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ
РАЗМЕРОВ СТРУКТУРНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ОБЪЕКТА
ИЗ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕГО МАГНИТНОГО МАТЕРИАЛА**

(21) Номер заявки: а 20160365

(22) 2016.10.05

(43) 2018.06.30

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(72) Авторы: Павлюченко Владимир Васильевич; Дорошевич Елена Сергеевна; Пивоваров Вадим Леонидович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(56) ВУ 18254 С1, 2014.

ВУ 17626 С1, 2013.

ВУ 6102 С1, 2004.

RU 2118816 С1, 1998.

SU 1573410 А1, 1990.

US 4271393 А, 1981.

JP 08062185 А, 1996.

ПАВЛЮЧЕНКО В.В. и др. Дефектоскопия. - 2013. - № 6. - С. 46 - 61.

(57)

1. Способ определения удельной электропроводности, магнитной проницаемости и геометрических размеров структурной неоднородности объекта из электропроводящего магнитного материала, в котором накладывают на поверхность исследуемого объекта сплошной магнитный носитель либо дискретный магнитный носитель с чередующимися магнитными и немагнитными участками, воздействуют на него вместе с объектом первым импульсом магнитного поля без выбросов посредством источника однородного магнитного поля, измеряют считывающим устройством напряженность магнитного поля на поверхности указанного носителя вдоль заданной линии замера, получая соответствующее непрерывное распределение электрического напряжения, далее выявляют на указанном распределении участок с локальным отклонением от общей картины и находят аналитическую функцию, описывающую этот участок, затем задают амплитуду второго импульса магнитного поля с одним выбросом или несколькими разнонаправленными выбросами с заданными амплитудами и временами нарастания, воздействуют вторым импульсом магнитного поля на носитель с объектом, получая интерференционную картину остаточных магнитных полей на участке поверхности носителя, соответствующем указанному отклонению, корректируют параметры второго импульса магнитного поля для достижения максимальной чувствительности измерения, воздействуют скорректированным импульсом магнитного поля на указанный участок магнитного носителя с объектом, вновь получают интерференционную картину и формируют ее оптическое растровое изображение, а затем определяют искомые свойства структурной неоднородности объекта путем сравнения указанного изображения с заранее полученными при тех же условиях изображениями эталонных объектов в отношении величины и координат первого максимума интерференционной картины, считанного над серединой неоднородности, а также осталь-

ВУ 22070 С1 2018.08.30

ных ее максимумов и минимумов и расстояний между ними либо путем прямого сравнения соответствующего распределения магнитных полей на поверхности носителя с заранее рассчитанными для тех же условий эталонными их распределениями.

2. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что дополнительно аналогичным образом определяют искомые свойства каждой структурной неоднородности исследуемого объекта.

3. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что в случае использования сплошного магнитного носителя указанное распределение электрического напряжения получают посредством интегрирования сигнала, снимаемого с выхода считывающего устройства.

Изобретение относится к контрольно-измерительной технике и может быть использовано для контроля качества изделий из электропроводящих и магнитных материалов.

Известен магнитоимпульсный способ контроля материалов [1], заключающийся в том, что на контролируемый объект воздействуют сериями импульсов магнитного поля и по параметрам взаимодействия этих импульсов со структурой материала определяют физико-механические свойства материала.

Однако этот способ не обладает достаточной точностью.

Известен способ магнитоимпульсного контроля дефектности, электрических и магнитных свойств объекта из магнитного или немагнитного электропроводящего материала [2], заключающийся в том, что на поверхность объекта воздействуют импульсами магнитного поля с разным временем нарастания, находят распределение максимальной тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля $H_{\text{тм}}$ по линии замера для каждого импульса, формируют оптическое изображение распределения в виде раstra, измеряют $H_{\text{тм}}$ по значению которой определяют величину удельной электропроводности σ материала объекта и величину его магнитной проницаемости μ по предварительно найденным зависимостям величины напряженности магнитного поля от удельной электропроводности, магнитной проницаемости и времени нарастания импульса поля, а наличие дефектов - по виду раstra.

Однако этот способ обладает недостаточной точностью.

Прототипом предлагаемого изобретения является способ магнитоимпульсного контроля, электрических и магнитных свойств контроля, в частности удельной электропроводности и магнитной проницаемости, дефектности, а также толщины объекта из электропроводящего магнитного материала [3], заключающийся в том, что на объект воздействуют одиночными импульсами магнитного поля с разным временем нарастания, находят распределение напряженности остаточного магнитного поля по линии замера магнитного носителя (МН) для каждого импульса, формируют оптическое изображение распределения в виде раstra, по которому определяют величину удельной электропроводности σ материала объекта и величину его магнитной проницаемости μ путем сравнения с предварительно найденными зависимостями величины напряженности магнитного поля от σ , μ и времени нарастания t_{max} импульса поля для немагнитных или магнитных известных материалов, а наличие дефектов - по виду раstra, воздействие осуществляют импульсами магнитного поля линейного индуктора с выбросами магнитного поля обратного и прямого направления напряженности магнитного поля с убывающей амплитудой или несколькими последовательными импульсами разной полярности с убывающей амплитудой, запись магнитных полей производят на дискретный МН с чередующимися магнитными и немагнитными участками или на другой МН, а определение электрических и магнитных свойств объекта и дефектов в нем осуществляют по величине электрического напряжения U на выходе считывающего устройства, сканирующего МН, пропорциональной величине напряженности остаточного магнитного поля МН и по ее распределению вдоль линии замера МН, а также по параметрам получающихся изображений геометриче-

ских фигур распределения $U(x)$ величины напряжения U этого устройства от координаты x по линии замера МН, которым ставят в соответствие оптические изображения, при этом параметры воздействующего импульса тока индуктора, состоящего из нескольких угасающих импульсов разной полярности, определяют исходя из конечного результата воздействия всеми импульсами магнитного поля на эталонный объект, при котором величина напряжения на выходе считывающего устройства для участка МН под осью индуктора равна нулю или близка к нулю, а свойства контролируемого объекта сначала определяют по величине первого максимума $U_{\max 1}$ его распределения $U(x)$, соответствующего положению проекции оси индуктора на МН, а также по величине других максимумов и минимумов и расстояниям между ними, причем количество последовательных импульсов разной полярности или выбросов поля обратного направления воздействия на контролируемый объект определяют исходя из гистерезисных свойств МН и требований контроля.

Однако этот способ обладает недостаточной точностью.

Задачей изобретения является повышение точности контроля параметров дефектов и структурных неоднородностей объектов из электропроводящих и магнитных материалов.

Поставленная задача достигается тем, что в способе определения удельной электропроводности, магнитной проницаемости и геометрических размеров структурной неоднородности объекта из электропроводящего магнитного материала, в котором накладывают на поверхность исследуемого объекта сплошной магнитный носитель либо дискретный магнитный носитель с чередующимися магнитными и немагнитными участками, воздействуют на него вместе с объектом первым импульсом магнитного поля без выбросов посредством источника однородного магнитного поля, измеряют считывающим устройством напряженность магнитного поля на поверхности указанного носителя вдоль заданной линии замера, получая соответствующее непрерывное распределение электрического напряжения, далее выявляют на указанном распределении участок с локальным отклонением от общей картины и находят аналитическую функцию, описывающую этот участок, затем задают амплитуду второго импульса магнитного поля с одним выбросом или несколькими разнонаправленными выбросами с заданными амплитудами и временами нарастания, воздействуют вторым импульсом магнитного поля на носитель с объектом, получая интерференционную картину остаточных магнитных полей на участке поверхности носителя, соответствующем указанному отклонению, корректируют параметры второго импульса магнитного поля для достижения максимальной чувствительности измерения, воздействуют скорректированным импульсом магнитного поля на указанный участок магнитного носителя с объектом, вновь получают интерференционную картину и формируют ее оптическое растровое изображение, а затем определяют искомые свойства структурной неоднородности объекта путем сравнения указанного изображения с заранее полученными при тех же условиях изображениями эталонных объектов в отношении величины и координат первого максимума интерференционной картины, вновь получают интерференционную картину и формируют ее оптическое растровое изображение, а затем определяют искомые свойства структурной неоднородности объекта путем сравнения указанного изображения с заранее полученными при тех же условиях изображениями эталонных объектов в отношении величины и координат первого максимума интерференционной картины, считанного над серединой неоднородности, а также остальных ее максимумов и минимумов и расстояний между ними либо путем прямого сравнения соответствующего распределения магнитных полей на поверхности носителя с заранее рассчитанными для тех же условий эталонными их распределениями, дополнительно аналогичным образом определяют искомые свойства каждой структурной неоднородности исследуемого объекта, при этом в случае использования сплошного магнитного носителя указанное распределение электрического напряжения получают посредством интегрирования сигнала, снимаемого с выхода считывающего устройства.

Сущность изобретения состоит в следующем.

Если воздействовать на магнитный носитель (МН) с контролируемым объектом импульсным магнитным полем линейного индуктора с выбросами обратного и прямого направления с убывающей амплитудой напряженности, то на МН остаются распределения остаточных магнитных полей, образующие интерференционную картину, которая характеризует электрические и магнитные свойства объекта.

Для повышения точности определения параметров неоднородности структуры следует использовать интерференционные картины, образованные самими же локальными неоднородностями структуры материала. Локальные неоднородности структуры объекта с большей точностью можно определять с помощью однородного первичного источника магнитного поля или других источников, имеющих известное распределение $H(x)$ напряженности H по координате x для эталонного объекта.

Воздействуют на дискретный с чередующимися магнитными и немагнитными участками или сплошной МН, приложенный к поверхности объекта, импульсом магнитного поля без выбросов источника однородного магнитного поля, после чего считывают информацию с МН преобразователем магнитного поля по линии замера и получают зависимость величины электрического напряжения U на выходе считывающего устройства, сканирующего МН, от координаты x , пропорциональную напряженности магнитного поля.

Находят участок МН с локальной неоднородностью распределения напряженности остаточного магнитного поля по зависимостям $U(x)$ и определяют аналитическую функцию $U(x)$, соответствующую распределениям магнитных полей над неоднородностью структуры. После этого определяют амплитуду второго импульса магнитного поля с одним или несколькими разнополярными выбросами и амплитуды и время нарастания этих выбросов. Воздействуют указанным импульсом на объект и получают гистерезисные интерференционные картины на участке магнитного носителя, соответствующем структурной неоднородности материала объекта. Корректируют амплитуды и время нарастания импульса и выбросов поля для получения максимальной чувствительности измерения, например, при которых величина первого максимума интерференции $U_{\max 1}$ распределения $U(x)$ на выходе считывающего устройства над локальной неоднородностью структуры равна нулю или близка к нулю. Воздействуют этим импульсом на МН с объектом, после чего формируют оптическое изображение распределения в виде раstra и по величине первого максимума $U_{\max 1}$ распределения $U(x)$, соответствующего положению проекции середины неоднородности на МН, и по амплитудам максимумов и минимумов гистерезисной интерференции и расстояниям между ними путем сравнения полученных распределений с распределениями $U_э(x)$ для объектов с эталонными неоднородностями или с расчетными распределениями $U(x)$ для известных неоднородностей определяют величину удельной электропроводности σ материала структурной неоднородности, величину его магнитной проницаемости μ и геометрические размеры этой неоднородности.

Найденный импульс магнитного поля с выбросами для определения параметров указанной неоднородности структуры объекта может быть неоптимальным для определения параметров других неоднородностей структуры объекта, выявленных первым импульсом магнитного поля без выбросов, поэтому определяют аналитические функции зависимости величины $U(x)$ для других участков МН с локальными неоднородностями и рассчитывают амплитуды и время нарастания импульсов и выбросов поля для получения максимальной чувствительности измерения, обеспечивающей осуществление оптимальной интерференционной картины $U(x)$ для этих локальных участков.

Форма распределений локальных неоднородностей $U(x)$ может быть близкой к экспоненциальной зависимости (экспоненциально возрастающая - экспоненциально убывающая с центром над проекцией неоднородности структуры). Для расчета интерференционной картины в этом случае поступают следующим образом.

Воздействуют на магнитный носитель, приложенный к поверхности электропроводящего объекта, первым импульсом магнитного поля индуктора, создающего однородное магнитное поле в зоне расположения объекта в его отсутствие. Пусть напряженность маг-

нитного поля вблизи поверхности электропроводящего объекта над структурной неоднородностью изменяется вдоль координаты x в плоскости, параллельной поверхности объекта, следующим образом:

$$y_1 = y_{01}e^{-\alpha x}, \quad (1)$$

где y_{01} - величина напряженности над проекцией центра неоднородности, α - постоянный коэффициент. Как показывают экспериментальные исследования, при уменьшении напряженности воздействующего поля ширина этого распределения уменьшается, то есть показатель экспоненты возрастает. Такое распределение можно описать функцией:

$$y_2 = y_{02}e^{-n\alpha x}. \quad (2)$$

Здесь $n > 1$.

Пусть величина остаточного магнитного поля МН зависит линейно от величины напряженности приложенного в прямом направлении магнитного поля с тангенсом угла наклона k_1 и исходит из начала координаты x . Тогда в результате воздействия первым импульсом величина y_3 остаточного поля МН:

$$y_3 = k_1 y_{01} e^{-\alpha x}. \quad (3)$$

Для обратного поля с k_2 из намагниченного состояния крутизна зависимости остаточного поля МН от действующего поля увеличивается: $k_2 > k_1$. Тогда остаточное поле МН после воздействия вторым импульсом:

$$y_4 = k_2 y_{02} e^{-n\alpha x}. \quad (4)$$

В результате воздействия на МН двумя указанными импульсами поля в прямом и обратном направлении получаем распределение остаточного поля МН:

$$y_5 = k_1 y_{01} e^{-\alpha x} - k_2 y_{02} e^{-n\alpha x}. \quad (5)$$

При $n = 2$ и условии $y_5 = 0$ (центральный минимум) для $k_2 = 2k_1$ получаем:

$$y_6 = e^{-\alpha x} - e^{-n\alpha x}. \quad (6)$$

Из условия $dy_6/dx = 0$, $\alpha = 1$ и $n = 2$ находим координату максимума интерференции: $x = 0,693$. Это есть второй максимум (так как над центром неоднородности нулевой максимум, равный нулю) первого порядка (остаточная намагниченность МН при воздействии обратным импульсом осталась в прямом направлении) гистерезисной интерференции магнитного поля локальной неоднородности. При величине $\alpha = 1/\text{мм}$ с учетом симметрии распределения остаточного поля МН относительно проекции центра неоднородности на плоскость измерения получаем координаты второго максимума первого порядка: $x_1 = 0,693$ мм, $x_2 = -0,693$ мм.

Указанные расчеты проведены для напряженности магнитного поля. При этом величина электрического напряжения U на выходе считывающего устройства, сканирующего МН, прямо пропорциональна напряженности остаточного поля МН. В случае использования сплошного магнитного носителя осуществляют интегрирование сигнала, снимаемого со считывающего устройства, с помощью интегратора и получают над неоднородностями распределения $U(x)$, аналогичные тем, которые могут быть получены с помощью дискретного магнитного носителя. Для того чтобы получить интерференционную картину, строят зеркальные функции этих распределений совместно с прямыми функциями и создают оптические изображения магнитных полей из полученных геометрических фигур, придавая уровень серого или цветности геометрической области, ограниченной этими фигурами.

Источники информации:

1. Мельгуй М.А. Магнитный контроль механических свойств сталей. - Минск: Наука и техника, 1980. - С. 157-162.
2. BY 10464, МПК G 01N 27/00, 2008.
3. BY 18254, МПК C1 G 01N 27/72, 2014 (прототип).