

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **11265**

(13) **С1**

(46) **2008.10.30**

(51) МПК (2006)

G 01N 27/72

G 01R 33/02

(54)

**СПОСОБ МАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ ДЕФЕКТНОСТИ
И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИЗДЕЛИЯ
ИЗ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕГО МАТЕРИАЛА**

(21) Номер заявки: а 20060244

(22) 2006.03.20

(43) 2007.10.30

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

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

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

(56) Методы неразрушающих испытаний / Под ред. Шарпа Р. - М.: Мир, 1972. - С. 394-412.

RU 2118816 С1, 1998.

RU 2245542 С2, 2005.

SU 258687, 1969.

WO 2005/064268 А1.

US 6611142 В1, 2003.

(57)

1. Способ магнитного контроля дефектности и электрических свойств изделия из электропроводящего материала, заключающийся в том, что воздействуют магнитным полем на изделие с приложенным к нему датчиком магнитного поля, визуализируют взаимодействие этого поля со структурой материала изделия и по полученным изображениям определяют свойства материала изделия, **отличающийся** тем, что устанавливают датчик магнитного поля на противоположной от источника магнитного поля стороне изделия, воздействуют на изделие магнитным полем, линейно нарастающим за время не более чем $1 \cdot 10^{-5}$ с до постоянной величины напряженности не менее $1 \cdot 10^2$ А/м, одновременно считывают информацию с датчика, по которой находят распределение магнитного поля, прошедшего сквозь изделие в разные моменты времени, формируют распределения величины тангенциальной составляющей напряженности прошедшего магнитного поля $H_{\tau y}$ по поверхности изделия в разные моменты времени в виде распределений уровней электрического сигнала, записывают их на элементы памяти, производят с сигналами алгебраические операции и воспроизводят на экране монитора в виде оптических изображений, на основании оптических изображений формируют растры разложения распределений $H_{\tau y}$ по линии замера датчика в процессе прохождения магнитного поля через изделие, затем по оптическим изображениям распределения $H_{\tau y}$ по поверхности изделия и во времени и/или по растрам разложения распределений $H_{\tau y}$ по линии замера датчика определяют удельную электропроводность материала изделия σ и ее распределение в изделии путем сравнения с эталонными распределениями $H_{\tau y}$ для изделий с одинаковой толщиной d , а также толщину изделия d и его разнотолщинность путем сравнения с эталонными распределениями $H_{\tau y}$ для изделий с одинаковой удельной электропроводностью материала σ и размеры и глубину залегания дефектов изделия путем сравнения с эталонными распределениями $H_{\tau y}$ для изделий с одинаковой удельной электропроводностью ма-

ВУ 11265 С1 2008.10.30

BY 11265 C1 2008.10.30

териала σ и толщиной d , причем для изделия толщиной d время считывания информации с датчика $t_{0\max}$ с момента включения магнитного поля задают в соответствии с выражением:

$$t_{0\max} = \frac{\pi\mu_0\sigma}{4}d^2,$$

где μ_0 - магнитная проницаемость вакуума,

а моменты времени t_i от начала импульса магнитного поля, в которые производят записи на элементы памяти с формированием оптических изображений, задают в соответствии с выражением:

$$t_i = \Delta t \cdot i = \frac{t_{0\max}}{m} i,$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, m, \dots, n$, причем m и n задают в зависимости от числа строк разложения в растр.

2. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что формируют оптические изображения дефектов в сечении изделия совместно и в одном масштабе с оптическим изображением его поверхности.

3. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что в качестве датчика магнитного поля используют матрицу из датчиков Холла или магнитооптическую пленку, или другие действующие в реальном масштабе времени датчики магнитного поля.

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

Известен магнитооптический способ контроля изделий [1], заключающийся в том, что накладывают магнитооптическую пленку на поверхность контролируемого изделия, намагничивают последнее и по рисунку, образовавшемуся под воздействием полей рассеяния, судят о качестве изделия.

Однако этот способ не обладает достаточной надежностью.

Прототипом предлагаемого изобретения является магнитоимпульсный способ контроля материалов [2], заключающийся в том, что воздействуют магнитным полем на изделие с приложенным к нему датчиком магнитного поля, визуализируют взаимодействие этого поля со структурой материала изделия и по полученным изображениям определяют свойства материала изделия.

Однако этот способ также не обладает достаточной надежностью.

Задачей изобретения является повышение надежности контроля электрических свойств и параметров дефектов изделий из электропроводящих материалов.

Поставленная задача достигается тем, что в способе магнитного контроля дефектности и электрических свойств изделия из электропроводящего материала, заключающемся в том, что воздействуют магнитным полем на изделие с приложенным к нему датчиком магнитного поля, визуализируют взаимодействие этого поля со структурой материала изделия и по полученным изображениям определяют свойства материала изделия, при этом устанавливают датчик магнитного поля на противоположной от источника магнитного поля стороне изделия, воздействуют на изделие магнитным полем, линейно нарастающим за время не более чем $1 \cdot 10^{-5}$ с до постоянной величины напряженности не менее $1 \cdot 10^2$ А/м, одновременно считывают информацию с датчика, по которой находят распределение магнитного поля, прошедшего сквозь изделие в разные моменты времени, формируют распределения величины тангенциальной составляющей напряженности прошедшего магнитного поля $H_{\tau y}$ поверхности изделия в разные моменты времени в виде распределений уровней электрического сигнала, записывают их на элементы памяти, производят с сигналами алгебраические операции и воспроизводят на экране монитора в виде оптических изображений, на основании оптических изображений формируют растры разложения

ВУ 11265 С1 2008.10.30

распределений $H_{\tau y}$ по линии замера датчика в процессе прохождения магнитного поля через изделие, затем по оптическим изображениям распределения $H_{\tau y}$ по поверхности изделия и во времени и/или по растрам разложения распределений $H_{\tau y}$ по линии замера датчика определяют удельную электропроводность материала изделия σ и ее распределение в изделии путем сравнения с эталонными распределениями $H_{\tau y}$ для изделий с одинаковой толщиной d , а также толщину изделия d и его разнотолщинность путем сравнения с эталонными распределениями $H_{\tau y}$ для изделий с одинаковой удельной электропроводностью материала σ и размеры и глубину залегания дефектов изделия путем сравнения с эталонными распределениями $H_{\tau y}$ для изделий с одинаковой удельной электропроводностью материала σ и толщиной d , причем для изделия толщиной d время считывания информации с датчика $t_{0\max}$ с момента включения магнитного поля задают в соответствии с выражением:

$$t_{0\max} = \frac{\pi\mu_0\sigma}{4}d^2,$$

где μ_0 - магнитная проницаемость вакуума,

а моменты времени t_i от начала импульса магнитного поля, в которые производят записи на элементы памяти с формированием оптических изображений, - в соответствии с выражением:

$$t_i = \Delta t \cdot i = \frac{t_{0\max}}{m} \cdot i,$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, m, \dots, n$, причем m и n задают в зависимости от числа строк разложения в растр. Формируют оптические изображения дефектов в сечении изделия совместно и в одном масштабе с оптическим изображением его поверхности. В качестве датчика магнитного поля используют матрицу из датчиков Холла или магнитооптическую пленку, или другие действующие в реальном масштабе времени датчики магнитного поля.

Сущность изобретения состоит в следующем.

Устанавливают датчик магнитного поля в виде магнитооптической пленки или матрицы датчиков Холла на поверхность изделия и воздействуют на изделие с противоположной стороны магнитным полем, линейно нарастающим за время не более $1 \cdot 10^{-5}$ с до постоянной величины напряженности $1 \cdot 10^2$ А/м и более. Пусть изделие представляет собой пластину из металла с искусственными дефектами одинакового диаметра и разной глубины с противоположной от датчика магнитного поля стороны изделия. Пусть датчиком является датчик Холла. Для обеспечения достаточно высокой точности измерений с учетом чувствительности датчика Холла определяют величину напряженности магнитного поля первичного источника $H_{\tau 0m}$ на противоположной от датчика поверхности, равной примерно $H_{\tau 0m} = 1 \cdot 10^4$ А/м.

Последовательно устанавливают этот датчик под центром каждого из искусственных дефектов и определяют зависимости величины тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля $H_{\tau y}$ прошедшей волны от времени t при воздействии на изделие магнитным полем. Из результатов экспериментов следует, что $H_{\tau y}$ под указанными дефектами нарастает с разной скоростью. Следовательно, получая информацию о распространении $H_{\tau y}$ под всей нижней поверхностью изделия (или ее частью) можно определять глубину залегания дефекта в изделии. Для этого формируют оптические изображения распределения величины тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля $H_{\tau y}$ прошедшей волны в заданные промежутки времени t . Эти промежутки времени определяют исходя из толщины изделия d , его удельной электропроводности σ , времени нарастания импульса магнитного поля t_{\max} и с учетом точности определения глубины залегания дефектов Δh , которое будем называть глубиной разрешения свойств.

Естественно связать глубину разрешения свойств изделия с широко используемым в электротехнике понятием условная (или эффективная) глубина проникновения магнитно-

го поля δ . Передний фронт указанного импульса магнитного поля можно представить как синусоидальный, что в действительности и реализуется, т.к. индуктивности цепи первичного источника сглаживают угол перехода линейно нарастающего импульса в импульс с постоянной величиной $H_{\tau_{0m}}$. Таким образом, передний фронт указанного импульса есть четвертьсинусоида (импульс в четверть волны).

Следовательно, время с момента включения магнитного поля t_{0max} , которое несет информацию о свойствах изделия по всей его толщине, может быть определено по формуле:

$$t_{0max} = \frac{\pi\mu_0\sigma}{4}d^2, \quad (1)$$

где μ_0 - магнитная проницаемость вакуума, σ - удельная электропроводность материала изделия.

Формула (1) получена из известной формулы для эффективной глубины проникновения магнитного поля δ :

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu_0\sigma\omega}}, \quad (2)$$

где ω - циклическая частота, с заменами $\delta = d$ и $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{4t_{0max}} = \frac{\pi}{2t_{0max}}$.

Для того чтобы выделить информацию о каком-то слое изделия, толщина которого h меньше d , надо получить информацию о распределении напряженности магнитного поля на нижней поверхности (где находятся датчики) изделия в моменты времени t меньше, чем t_{0max} .

Например, в пластине из металла имеется n искусственных дефектов в виде сквозных отверстий одного диаметра и разной глубины с одинаковым шагом изменения глубины.

Через время t_{0max} на нижней поверхности появляются, точнее достигают определенной

величины, магнитные поля всех указанных дефектов, через время $t_{n-1} = \frac{n-1}{n}t_{0max}$ появляются поля всех дефектов, кроме поля одного дефекта с наименьшей глубиной, через $t_{n-2} = \frac{n-2}{n}t_{0max}$ появляются поля всех дефектов, кроме полей двух самых неглубоких.

Таким образом, задавая толщину разрешаемого по глубине слоя изделия, находят отрезки времени t_i измерения величины напряженности магнитного поля на поверхности пластины.

Конечно, передний фронт импульса в проводящем материале становится более "размытым", и поля дефектов нарастают более постепенно. Однако принципиального влияния на контроль изделий это не оказывает, потому что все равно поля протяженных в глубину дефектов появляются и нарастают раньше полей дефектов, меньших по глубине.

Кроме того, как видно из формулы (1), величина t_{0max} зависит от d не линейно, а квадратично. Но и формула (2) выведена для бесконечно протяженного в глубину материала (проводящее полупространство). Поэтому для получения более точного определения глубины (протяженности) залегания дефектов нормируют глубину распространения поля, т.е. устанавливают, какой толщине слоя соответствует время измерения $t_{19}, t_{18}, \dots, t_1$.

Если углубления в первом металле заполнены вторым металлом с большей удельной электропроводностью (в k раз), то, поскольку эффективная глубина проникновения поля у первого металла в \sqrt{k} раз больше (скорость распространения поля тоже больше), следовательно, через участки второго металла поле будет распространяться медленнее и на нижней стороне пластины величина напряженности магнитного поля прошедшей волны будет меньше под участками второго металла. Так будет происходить до момента установления в пластине постоянного магнитного поля. Разрешение свойств изделия по глубине осуществляют, задавая время измерения t так, как это было описано выше.

Если известна удельная электропроводность материала изделия σ , то указанным способом можно определить толщину изделия, а также его разнотолщинность.

Для того чтобы получить информацию о дефекте (другом участке) "с видом сбоку" или "в профиль", формируют растры разложения информации датчика, т.е. распределения $H_{\tau\gamma}$ на поверхности изделия в процессе прохождения полем изделия. При этом распределения $H_{\tau\gamma}$ и соответствующие им оптические изображения по линии замера (линии сканирования), проходящей через дефект, будут представлять собой полосы с разными уровнями $H_{\tau\gamma}$ или яркостью (интенсивностью). Это оптическое изображение поля дефекта может быть представлено совместно с оптическим изображением изделия в сечении. Более того, путем сравнения с эталонными оптическими изображениями дефектов могут быть найдены размеры дефекта и глубина его залегания, и этот дефект может быть изображен в реальном масштабе в сечении изделия совместно с оптическим изображением его поверхности. Например, красный круг на сером фоне разреза (сечения) изделия и голубые верхняя, нижняя и боковые поверхности изделия.

Таким же образом могут быть изображены разнотолщинность изделия и удельная электропроводность материала по уровням яркостного сигнала и сигнала цветности оптического изображения при телевизионном или проекционном формировании изображений.

С записанными сигналами производят алгебраические операции. Выделение уровней электрического сигнала осуществляют путем вычитания величины напряжения, соответствующего заданной величине напряженности магнитного поля $H_{\tau\gamma}$, из всех остальных. Например, производят вычитание уровня фона из всех остальных информационных сигналов по всем точкам поверхности изделия.

Сложение электрических напряжений осуществляют по соответствующим точкам поверхности изделия, например, для наложения друг на друга оптических изображений, полученных в разные моменты времени с разной информацией о дефектах.

Операции умножения и деления электрических сигналов производят, например, путем перевода линейных шкал в логарифмические или наоборот - с целью лучшего выделения изображений, их большей наглядности и информативности.

Изобретение осуществляют следующим образом.

Устанавливают датчик магнитного поля на поверхности изделия и воздействуют на изделие магнитным полем с противоположной от датчика стороны. Для разрешения свойств изделия по глубине необходимо создать в изделии крутой фронт волны. Поэтому воздействуют на изделие магнитным полем, линейно нарастающим за время не более $1 \cdot 10^{-5}$ с до постоянной величины напряженности $1 \cdot 10^2$ А/м и более. Такое время нарастания позволяет разрешать по свойствам слои изделия толщиной $1 \cdot 10^{-4}$ м и меньше. Величину напряженности магнитного поля устанавливают исходя из характеристик используемых датчиков и величины индукционных полей на поверхности изделий из электропроводящих материалов. Одновременно с прохождением электромагнитного поля через изделие считывают информацию с датчика, действующего в реальном масштабе времени, в качестве которого используют магнитооптическую пленку или матрицу датчиков Холла, и получают распределение напряженности магнитного поля по поверхности изделия в разные моменты времени. Эти распределения преобразуют в распределения электрического сигнала, записывают их на элементы памяти с проведением алгебраических операций с сигналами и воспроизводят на экране монитора или телевизионного приемника в виде оптических изображений. Используя предварительно найденные распределения напряженности прошедшего через изделие поля для изделий с заданными величинами удельной электропроводности σ , разнотолщинности и параметрами дефектов, находят эти характеристики для контролируемого изделия. Учитывая, что эффективная глубина проникновения магнитного поля в изделие с удельной электропроводностью σ на частоте ω равна:

ВУ 11265 С1 2008.10.30

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu_0 \sigma \omega}}, \text{ где } \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м,}$$

и, считая время нарастания $t_{0\max}$ магнитного поля равным четверти периода синусоиды, получают время $t_{0\max}$ нарастания поля, несущего информацию об изделии по всей его толщине:

$$t_{0\max} = \frac{\pi \mu_0 \sigma}{4} d^2,$$

где μ_0 - магнитная постоянная.

Это выражение получено при условии равенства толщины изделия эффективной глубине проникновения магнитного поля $d = \delta$.

Для разрешения свойств изделия по слоям при контроле в прошедшей волне задают моменты времени t_i от начала импульса поля, в которые производят записи на элементы памяти с формированием изображений в соответствии с формулой:

$$t_i = \Delta t \cdot i = \frac{t_{0\max}}{m} i,$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, m, \dots, n$. На основании этих изображений формируют растры разложения информации датчиков, соответствующие нарастанию поля на поверхности изделия, числа m и n задают в зависимости от числа строк разложения в растр. Например, воздействуют на изделие магнитным полем и в момент времени $t_{0\max}$ находят распределение магнитного поля на поверхности изделия, несущее информацию о величине σ материала изделия, дефектах и разнотолщинности. На участках с дефектами сплошности или с меньшей величиной σ магнитное поле проходит через изделие быстрее и величина его напряженности в начальные моменты времени больше, чем на других участках. Поэтому задают число m , например $m = 100$, находят величину отрезка времени $\Delta t = \frac{t_{0\max}}{m}$ ($t_i = 0,01 \cdot i$), для каждого

из которых находят распределение магнитного поля на поверхности изделия, выбирают линию на поверхности изделия и для этой линии формируют строки разложения в растр распределений поля, "всплывающего" на поверхность изделия. Каждой строке растра вводят в соответствие информацию линии распределения магнитного поля в момент времени t_i . По изображению растра определяют неоднородности свойств изделия по линии на поверхности изделия. Абсолютную величину σ находят сравнением величины напряженности магнитного поля в данные моменты времени распространения магнитного поля с предварительно найденными зависимостями для материалов с известными удельными электропроводностями. Поскольку участки материала могут быть с большей толщиной, чем $d = \delta$, и с большей величиной σ , чем для остального материала изделия, то задают число моментов времени контроля изделия n больше, чем m , и находят распределения магнитного поля по указанной линии и после момента времени, при котором эффективная глубина проникновения магнитного поля равна толщине изделия.

Источники информации:

1. А.с. СССР 452786, МПК G 01N 72/82, 1974.
2. Методы неразрушающих испытаний / Под ред. Р. Шарпа. - М.: Мир, 1972. - С. 394-412 (прототип).