

**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**  
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **13905**  
(13) **С1**  
(46) **2010.12.30**  
(51) МПК (2009)  
**G 01N 27/72**

(54) **СПОСОБ МАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ ДЕФЕКТНОСТИ,  
ТОЛЩИНЫ, ФОРМЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИЗДЕЛИЯ  
ИЗ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕГО МАТЕРИАЛА**

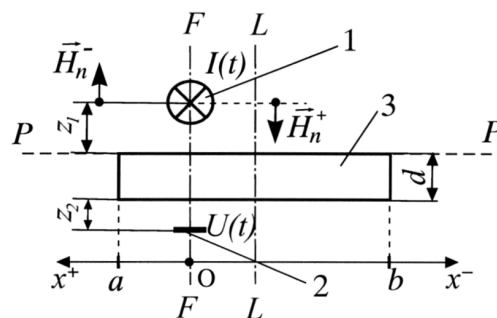
(21) Номер заявки: а 20081019  
(22) 2008.07.31  
(43) 2010.04.30

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)  
(72) Авторы: Павлюченко Владимир Васильевич; Дорошевич Елена Сергеевна (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)  
(56) ВУ а20060244, 2007.  
ВУ а20060201, 2007.  
RU 2118816 С1, 1998.  
RU 2176317 С1, 2001.  
JP 58083252 А, 1983.  
EP 1709390 А1, 2006.

(57)

1. Способ магнитного контроля дефектности, толщины, формы и электрических свойств изделия из электропроводящего материала, в котором датчик измерения напряженности нормальной составляющей магнитного поля источника устанавливают под осью указанного источника, выполненного в виде прямолинейного токопровода, таким образом, чтобы сигнал с датчика при отсутствии контролируемого изделия между ним и токопроводом был равен нулю или минимально достижимой на практике величине, затем устанавливают контролируемое изделие между токопроводом и датчиком и перемещают его с заданным заранее шагом в плоскости, параллельной оси токопровода, при одновременном воздействии на изделие импульсами магнитного поля, и записывают на элементы памяти временные зависимости величины сигнала, снимаемого с датчика, для каждого фиксированного положения изделия, далее по записанным сигналам находят распределения величины нормальной составляющей напряженности магнитного поля над поверхностью изделия в разные моменты времени и формируют их изображения, после чего определяют искомые свойства изделия путем сравнения указанных изображений с заранее полученными аналогичными эталонными изображениями для объектов с известными свойствами.



Фиг. 1

**ВУ 13905 С1 2010.12.30**

# ВУ 13905 С1 2010.12.30

2. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что в качестве эталонных изображений используют предварительно созданные изображения распределений нормальной составляющей напряженности магнитного поля идеального объекта, у которого геометрические размеры, величина удельной электропроводности и ее распределение в объекте соответствуют заданным минимально допустимым отклонениям при отсутствии в нем дефектов или выполнении условий их ограничения.

3. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что в качестве эталонных изображений используют предварительно созданные изображения распределений нормальной составляющей напряженности магнитного поля для неидеальных объектов с заданной величиной и распределением удельной электропроводности, с разной толщиной и разными распределениями дефектов.

4. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что измерение величины нормальной составляющей напряженности магнитного поля осуществляют при различных заданных временах нарастания импульсов магнитного поля.

5. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что положение контролируемого изделия определяют по положению одного из его краев.

---

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.

Известен 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 данный способ не обладает достаточной надежностью.

Прототипом данного изобретения является способ магнитного контроля дефектности и электрических свойств изделия из электропроводящего материала [3], 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, 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  $H_{\tau y}$  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  $\sigma$  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

## ВУ 13905 С1 2010.12.30

эталонными распределениями  $H_{\text{тy}}$  для изделий с одинаковой удельной электропроводностью материала  $\sigma$  и размеры и глубину залегания дефектов изделия путем сравнения с эталонными распределениями  $H_{\text{тy}}$  для изделий с одинаковой удельной электропроводностью материала  $\sigma$  и толщиной  $d$ , причем для изделия толщиной  $d$  время считывания информации с датчика  $t_{o \text{ max}}$  с момента включения магнитного поля задают в соответствии с выражением:

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

где  $\mu_0$  - 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:

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

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

Однако данный способ не обладает достаточной надежностью контроля, т.к. использует распределение магнитного поля не в полном объеме для получения однозначных результатов контроля и не учитывает информацию, которую несет в себе распределение нормальной составляющей напряженности магнитного поля.

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, толщины, формы и электрических свойств изделия из электропроводящего материала датчик измерения напряженности нормальной составляющей магнитного поля источника устанавливают под осью указанного источника, выполненного в виде прямолинейного токопровода, таким образом, чтобы сигнал с датчика при отсутствии контролируемого изделия между ним и токопроводом был равен нулю или минимально достижимой на практике величине, затем устанавливают контролируемое изделие между токопроводом и датчиком и перемещают его с заданным заранее шагом в плоскости, параллельной оси токопровода, при одновременном воздействии на изделие импульсами магнитного поля, и записывают на элементы памяти временные зависимости величины сигнала, снимаемого с датчика, для каждого фиксированного положения изделия, далее по записанным сигналам находят распределения величины нормальной составляющей напряженности магнитного поля над поверхностью изделия в разные моменты времени и формируют их изображения, после чего определяют искомые свойства изделия путем сравнения указанных изображений с заранее полученными аналогичными эталонными изображениями для объектов с известными свойствами, при этом в качестве эталонных изображений используют предварительно созданные изображения распределений нормальной составляющей напряженности магнитного поля идеального объекта, у которого геометрические размеры, величина удельной электропроводности и ее распределение в объекте соответствуют заданным минимально допустимым отклонениям при отсутствии в нем дефектов или выполнении условий их ограничения. В качестве эталонных изображений используют предварительно созданные изображения распределений нормальной составляющей напряженности магнитного поля для неидеальных объектов с заданной величиной и распределением удельной электропроводности, с разной толщиной и разными распределениями дефектов. Измерение величины нормальной составляющей напряженности магнитного поля осуществляют при различных заданных временах нарастания импульсов магнитного поля, а положение контролируемого изделия определяют по положению одного из краев.

# BY 13905 C1 2010.12.30

Сущность изобретения поясняется чертежами на фиг. 1, фиг. 2, фиг. 3 и фиг. 4 и состоит в следующем.

Между источником магнитного поля 1 (фиг. 1) в виде прямолинейного токопровода с током  $I = I(t)$  и датчиком магнитного поля 2 перемещают изделие 3 из электропроводящего материала в плоскости PP, перпендикулярной оси FF, проходящей через ось токопровода 1 и центр симметрии датчика 2. Перемещение осуществляют с шагом сканирования  $h$  и для каждого положения изделия относительно датчика, в качестве которого используют, например, датчик Холла, измеряют зависимость величины снимаемого с него напряжения  $U$  от времени  $t: U = U(t)$ . Через  $z_1$  и  $z_2$  обозначены расстояния от поверхности изделия 3 соответственно до оси токопровода 1 и центра датчика 2. Через  $\vec{H}_n^+$  и  $\vec{H}_n^-$  обозначены нормальные составляющие напряженности магнитного поля токопровода 1, через буквы  $a$  и  $b$  - края изделия и через LL - плоскость симметрии изделия.

Результаты измерений представлены на фиг. 2, фиг. 3 и фиг. 4. На фиг. 2 показаны зависимости 1, 2, 3 и 4 величины напряжения  $U$ , снимаемого с датчика Холла, от времени  $t$   $U = U(t)$  при расстояниях края изделия от оси FF соответственно 0 м,  $1 \cdot 10^{-3}$  м,  $3 \cdot 10^{-3}$  м,  $5 \cdot 10^{-3}$  м (край изделия переходит через ось FF). Здесь же показаны зависимости  $U = U(t)$ , не содержащие измеряемый сигнал 5 (изделие отсутствует) и 6 (при наличии изделия), и зависимость 7 величины тока источника первичного поля от времени  $t$ .

На фиг. 3 показаны аналогичные зависимости  $U = U(t)$  1, 2, 3, 4, 5, 6 и 7 при расстояниях  $x^-$  края изделия от оси FF соответственно 0 м,  $1 \cdot 10^{-3}$  м,  $3 \cdot 10^{-3}$  м,  $5 \cdot 10^{-3}$  м,  $8 \cdot 10^{-3}$  м,  $12 \cdot 10^{-3}$  м (край изделия не доходит до оси FF), а также не содержащие измеряемый сигнал зависимости  $U = U(t)$  8 (изделие отсутствует) и 9 (при наличии изделия), а также зависимость 10 силы тока источника первичного поля от времени  $t$ .

На фиг. 4 изображены зависимости величины напряжения  $U$ , снимаемого с датчика Холла, от времени  $t$  для случаев: 1 - толщина образца  $d = 3,0 \cdot 10^{-3}$  м, полный сигнал  $U$ , 2 - то же, что и 1 в отсутствие полезного сигнала, 3 - толщина образца  $d = 2,3 \cdot 10^{-4}$  м, полный сигнал  $U$ , 4 - то же, что и 3 в отсутствие полезного сигнала, 5 - зависимость силы тока  $I$  первичного источника поля от времени  $t$  и точки пересечения кривых A и C.

Величина нормальной составляющей напряженности магнитного поля  $H_n$  прямо пропорциональна разности напряжений  $U$ , содержащих и не содержащих измеряемый сигнал и изображенных на фиг. 2, 3, 4.

Из фиг. 2, фиг. 3 и фиг. 4 следует, что при внесении изделия из электропроводящего материала в импульсное магнитное поле линейного токопровода под осью токопровода возникает нормальная составляющая напряженности магнитного поля  $H_n$ , величина которой изменяется во времени и зависит от расстояния от края изделия до оси FF, проходящей через центр датчика и ось токопровода.

Величина  $H_n$  и ее распределение по точкам над поверхностью изделия во времени зависят от удельной электропроводности материала изделия  $\sigma$ , его толщины и размеров изделия в его плоскости, наличия в нем дефектов и их параметров, а также от времени нарастания импульса поля. Так, с уменьшением  $\sigma$  при одной и той же толщине изделия величина  $H_n$  также уменьшается. Аналогично величина  $H_n$  уменьшается с уменьшением толщины изделия при одной и той же величине  $\sigma$ . Увеличение времени нарастания импульсов приводит к изменениям пространственно-временных распределений  $H_n$ .

Наличие дефектов в изделиях приводит к возникновению импульсных полей дефектов над поверхностью изделия, т.е. к возникновению нормальной составляющей  $H_n$ , величина которой и ее распределение над поверхностью изделия во времени зависит от размеров дефектов и их электрических свойств.

Направленно управляя временем нарастания напряженности магнитного поля первичного источника, от которого зависят глубина проникновения магнитного поля в материал

## ВУ 13905 С1 2010.12.30

и величина поля индукционных токов, можно разрешать указанные выше свойства изделий разной толщины.

Огромный объем информации об изделии и возможности его быстрой обработки компьютерными технологиями позволяют определять свойства изделия путем сравнения полученных распределений  $H_n$  с распределениями  $H_n$  для эталонных изделий.

Прежде всего следует производить сравнение с распределениями  $H_n$  для идеального объекта, т.е. такого, у которого геометрические размеры, величина и распределение  $\sigma$ , а также параметры допустимых дефектов находятся в заданных условиями контроля пределах. Если распределение  $H_n$  контролируемого изделия не соответствует в установленных пределах распределениям  $H_n$  идеального эталона, то его сравнивают с распределениями  $H_n$  неидеальных эталонов. Эти распределения предварительно находят для объектов, отличающихся по величине  $\sigma$ , толщине и параметрам дефектов. Распределения  $H_n$  эталонных объектов предварительно заносят в базу данных компьютера.

Способ осуществляют следующим образом.

Устанавливают датчик магнитного поля под осью линейного токопровода и ориентируют его так, чтобы он измерял нормальную составляющую напряженности магнитного поля  $H_n$  токопровода. Корректируют положение датчика и токопровода таким образом, чтобы сигнал с датчика был равен нулю ( $H_n = 0$  по направлению радиуса от оси токопровода) или соответствовал минимально достижимой величине (отличие от нуля в результате ошибок измерения). Затем устанавливают изделие между токопроводом и датчиком в плоскости  $PP$ , перпендикулярной проходящей через них оси  $FF$ . Воздействуют на изделие импульсным магнитным полем токопровода и находят распределение величины  $H_n$  во времени для данного расположения изделия относительно токопровода и датчика. Записывают полученное распределение в память в виде уровней электрического сигнала и формируют изображения распределения  $H_n$ . Например, формируют изображение в виде кадра развертки.

Перемещают изделие в плоскости  $PP$  с заданным шагом сканирования  $h$  в следующую точку вблизи поверхности изделия и производят снова все указанные операции. Так продвигаются для всех заданных точек вблизи поверхности изделия. В результате получают распределения  $H_n$ , состоящие из многих кадров компьютерного (телевизионного) разложения в растр.

После этого сравнивают по соответствующим точкам полученные разложения с разложениями идеального эталона.

В случае если отличия этих разложений больше, чем установленные пределы, то сравнивают полученные изображения (разложения) с эталонными изображениями, полученными для неидеальных эталонных объектов с разными величинами  $\sigma$ , разной толщиной и разными параметрами дефектов, на основании чего определяют искомые свойства изделия и формируют изображения этих свойств совместно с оптическим изображением изделия.

При этом задают шаг сканирования изделия  $h$ , величину которого определяют в зависимости от размеров изделия и требований контроля.

Контроль изделий осуществляют при разных временах нарастания импульсов магнитного поля.

Для достижения высокой точности и надежности контроля осуществляют привязку координат контролируемого изделия и эталонных объектов. Ввиду того, что максимальные величины  $H_n$  возникают при прохождении края изделия через ось  $FF$  (точнее, вблизи этого положения края изделия), то отсчет перемещений ведут от положения края образца на проекции, т.е. по краям изделий и эталонов, ближайших к оси токопровод - датчик  $FF$ .

Указанным способом можно производить также распознавание свойств неизвестных электропроводящих объектов.

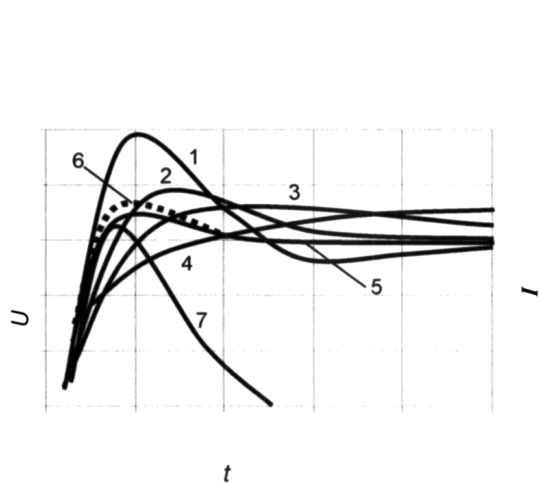
Предложенный способ дополняет сведения об изделии, полученные при измерении тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля. Однако благодаря возможности вести измерения, начиная с нулевого уровня сигнала (минимально достижимого

# BY 13905 C1 2010.12.30

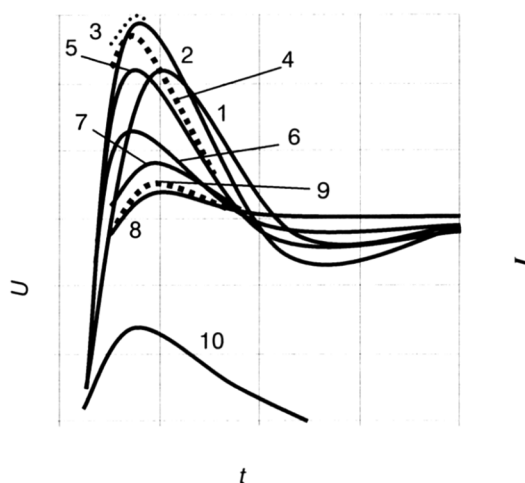
сигнала), он обладает гораздо большей чувствительностью, надежностью, информативностью и может быть применен как отдельный самостоятельный способ, который имеет огромные преимущества по сравнению со способом контроля изделий, основанным на измерении величины тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля.

Источники информации:

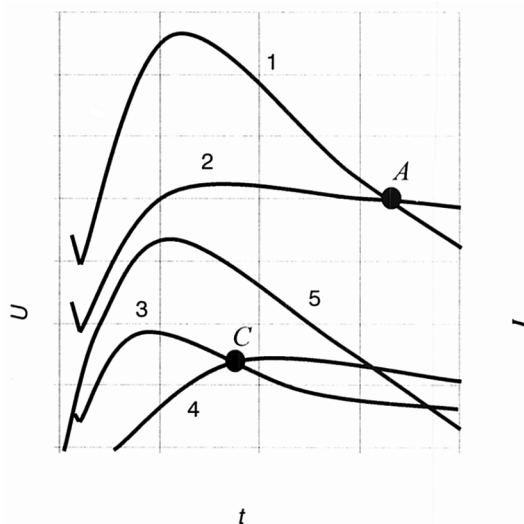
1. А.с. СССР 452786, МПК G 01N 72/82 // Бюл. № 45. - 1974.
2. Методы неразрушающих испытаний / Под ред. Р.Шарпа. - М.: Мир, 1972. - С. 394-412.
3. Решение от 05.06.2008 о выдаче патента на изобретение по заявке от 20.03.2006 а 20060244. Способ магнитного контроля дефектности и электрических свойств изделия из электропроводящего материала / В.В. Павлюченко, Е.С. Дорошевич (прототип).



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4