

**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**  
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **14960**

(13) **С1**

(46) **2011.10.30**

(51) МПК

**G 01N 27/72** (2006.01)

(54) **СПОСОБ МАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
ВЕЛИЧИНЫ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ И/ИЛИ  
МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ И/ИЛИ ДЕФЕКТОВ ПО  
ОБЪЕМУ ИЗДЕЛИЯ ИЗ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕГО МАТЕРИАЛА**

(21) Номер заявки: а 20080854

(22) 2008.06.27

(23) 2008.02.21

(43) 2010.02.28

(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 а20060200, 2007.

ВУ а20060244, 2007.

ВУ а20060201, 2007.

RU 2118816 С1, 1998.

RU 2176317 С1, 2001.

JP 58083252 А, 1983.

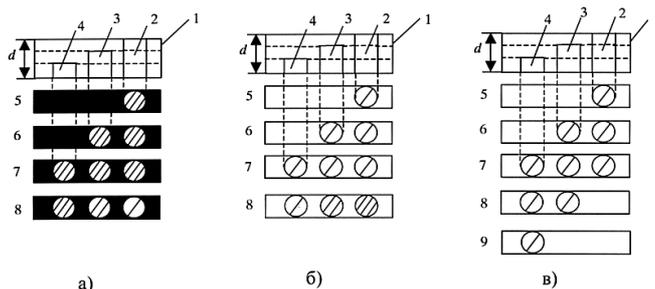
EP 1709390 А1, 2006.

(57)

1. Способ магнитного контроля распределения величины удельной электропроводности и/или магнитной проницаемости, и/или дефектов по объему изделия из электропроводящего материала, в котором на изделие с приложенным к нему датчиком магнитного поля последовательно воздействуют одиночными импульсами магнитного поля с временами нарастания  $t_{i\max}$ , заданными таким образом, чтобы обеспечить разрешение  $i$ -м импульсом контролируемых свойств изделия в слое заданной толщины  $\Delta$  в соответствии с выражением:

$$t_{i\max} = b \cdot i^2 \cdot \Delta,$$

где  $b$  - коэффициент, экспериментально полученный для данного материала, считывают информацию с датчика после воздействия на изделие каждым импульсом и формируют на отражающем экране оптическое изображение магнитного поля в виде уровней яркости или цветности, с одновременной записью их на элементы памяти в виде уровней электрического сигнала, затем, найдя предварительно функцию  $f = f(H_{0s\max})$  зависимости яркостного сигнала или сигнала цветности  $f$  от максимального магнитного поля  $H_{0s\max}$ , воздействующего на датчик в процессе измерения, и функцию  $H_{0s\max} = H_{0s\max}(t_{i\max})$ ,



**ВУ 14960 С1 2011.10.30**

применяют указанные функции ко всем оптическим изображениям и ко всем элементам памяти, приводя изображения одного и того же участка изделия к одинаковому цвету или яркости для всех  $t_{i\max}$ , затем совмещают полученные изображения путем их наложения друг на друга с произведением алгебраических операций по элементам памяти для выделения изображений, соответствующих каждому конкретному слою, после чего сравнивают выделенные изображения с аналогичными изображениями, полученными заранее при воздействии таких же импульсов на эталонные изделия из того же материала, и определяют путем указанного сравнения искомые свойства изделия в каждой контролируемой его точке.

2. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что импульсы магнитного поля формируют в виде полусинусоиды, величины их максимальной напряженности выбирают одинаковыми, а во всех выделенных изображениях выбирают общую линию сечения с одними и теми же координатами, формируют сечения выделенных изображений по этой линии в виде полос шириной  $\Delta$ , располагают их друг под другом, формируя таким образом сечение оптического изображения всего изделия, соответствующее распределению искомых его свойств в глубину по линии сечения, вводят в соответствие координате  $z$  в изделии по линии сечения координату  $z_i$  в сечении оптического изображения в соответствии с выражением

$$z_i = \left( i - \frac{1}{2} \right) \Delta,$$

а затем согласовывают изображения по масштабу с изделием, накладывая с учетом указанного соответствия сечение оптического изображения на условное изображение изделия по линии сечения, а каждое выделенное оптическое изображение - на изображение поверхности изделия.

---

Изобретение относится к контрольно-измерительной технике и может быть использовано для контроля качества изделий из электропроводящих и магнитных 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 способ магнитного контроля [2], заключающийся в том, что на изделие с приложенным к нему датчиком магнитного поля воздействуют магнитным полем, после чего считывают с датчика записанную информацию с индикацией полученных сигналов, по которым судят о качестве изделия.

Однако данный способ не обладает достаточной надежностью контроля дефектов и не позволяет определять электрические и магнитные свойства изделия.

Задачей изобретения является повышение надежности контроля изделий из электропроводящих и магнитных материалов на наличие в них внутренних дефектов и определение электрических и магнитных свойств материалов изделий.

Поставленная задача достигается тем, что в способе магнитного контроля распределения величины удельной электропроводности и/или магнитной проницаемости и/или дефектов по объему изделия из электропроводящего материала, в котором на изделие с приложенным к нему датчиком магнитного поля последовательно воздействуют одиночными импульсами магнитного поля с временами нарастания  $t_{i\max}$ , заданными таким образом, чтобы обеспечить разрешение  $i$ -м импульсом контролируемых свойств изделия в слое заданной толщины  $\Delta$  в соответствии с выражением:

$$t_{i\max} = b \cdot i^2 \cdot \Delta,$$

где  $b$  - коэффициент, экспериментально полученный для данного материала, считывают информацию с датчика после воздействия на изделие каждым импульсом и формируют на отражающем экране оптическое изображение магнитного поля в виде уровней яркости или цветности, с одновременной записью их на элементы памяти в виде уровней электрического сигнала, затем, найдя предварительно функцию  $f = f(H_{0s\max})$  зависимости яркостного сигнала или сигнала цветности  $f$  от максимального магнитного поля  $H_{0s\max}$ , воздействующего на датчик в процессе измерения, и функцию  $H_{0s\max} = H_{0s\max}(t_{i\max})$ , применяют указанные функции ко всем оптическим изображениям и ко всем элементам памяти, приводя изображение одного и того же участка изделия к одинаковому цвету или яркости для всех  $t_{i\max}$ , затем совмещают полученные изображения путем их наложения друг на друга с произведением алгебраических операций по элементам памяти для выделения изображений, соответствующих каждому конкретному слою, после чего сравнивают выделенные изображения с аналогичными изображениями, полученными заранее при воздействии таких же импульсов на эталонные изделия из того же материала, и определяют путем указанного сравнения искомые свойства изделия в каждой контролируемой его точке, при этом импульсы магнитного поля формируют в виде полусинусоиды, величины их максимальной напряженности выбирают одинаковыми, а во всех выделенных изображениях выбирают общую линию сечения с одними и теми же координатами, формируют сечения выделенных изображений по этой линии в виде полос шириной  $\Delta$ , располагают их друг под другом, формируя таким образом сечение оптического изображения всего изделия, соответствующее распределению искомых его свойств в глубину по линии сечения, вводят в соответствие координате  $z$  в изделии по линии сечения координату  $z_i$  в сечении оптического изображения в соответствии с выражением

$$z_i = \left( i - \frac{1}{2} \right) \cdot \Delta,$$

а затем согласовывают изображения по масштабу с изделием, накладывая с учетом указанного соответствия сечение оптического изображения на условное изображение изделия по линии сечения, а каждое выделенное изображение - на изображение поверхности изделия.

Изобретение осуществляют следующим образом. Задают толщину разрешаемого в глубину слоя изделия  $\Delta$ , для которого определяют время  $t_{1\max}$  нарастания импульса магнитного поля в виде полусинусоиды по формуле:

$$t_{1\max} = b \cdot \Delta, \quad (1)$$

где  $b$  - коэффициент, зависящий от  $\sigma$  и  $\mu$  материала.

Воздействуют на изделие с приложенным датчиком магнитного поля этим импульсом поля и получают на отпечатке распределения этого поля в виде распределения остаточной намагниченности датчика, а значит, и распределения полей рассеяния над ним. Считывают эти поля с датчика, например, с помощью магнитной головки, записывают полученные электрические сигналы на элементы памяти в виде уровней электрического сигнала в электронные, магнитные или другие запоминающие устройства. Так как датчики магнитного поля и устройства съема информации с них обладают нелинейными свойствами, роль которых растет с увеличением диапазонов измеряемых полей, то для того, чтобы получить на экране индикатора распределение яркостного сигнала или сигнала цветности, соответствующее реальному распределению напряженности магнитного поля на поверхности изделия, действуют следующим образом. Предварительно находят функцию  $f$  зависимости яркостного сигнала или сигнала цветности от величины максимальной напряженности магнитного поля  $H_{\max}$  для всей измерительно-воспроизводящей системы  $f = f(H_{\max})$ , т.е. с учетом свойств магнитного датчика, устройства съема информации с датчика, усилителей электрического сигнала и устройств преобразования электрического сигнала в оптическое изображение. Кроме того, как показали проведенные исследования, величина  $H_{\max}$  на по-

верхности изделия зависит от времени нарастания  $t_{\max}$  импульса  $H_{\max} = H_{\max}(t_{\max})$  при одной и той же толщине изделия. Применяют функции  $f = f(H_{\max})$  и  $H_{\max} = H_{\max}(t_{\max})$  и записывают на элементы памяти новое распределение электрического сигнала, усиленного с коэффициентами усиления, соответствующим этим двум функциям. Так на элементах памяти получают запись электрических сигналов, соответствующих оптическому изображению магнитного поля (ОИМП) на поверхности изделия.

Таким образом, воздействуя на изделие первым импульсом, получают ОИМП на поверхности изделия, соответствующее проникновению магнитного поля на глубину  $\Delta$  в изделие.

Воздействуя на изделие последующими импульсами магнитного поля с одинаковой максимальной напряженностью  $H_{\max}$  и временами нарастания  $t_{i\max}$ , определяемыми по формуле:

$$t_{i\max} = b \cdot i^2 \cdot \Delta, \quad (2)$$

где  $i = 1, 2, \dots, n$ , получают соответствующим им ОИМПы для проникновения магнитного поля на глубины:  $t_2 \cdot 2 \cdot \Delta$ ,  $t_3 \cdot 3 \cdot \Delta$ , ...,  $t_n \cdot n \cdot \Delta$ .

Пользуясь найденными ОИМП по уровню яркостного сигнала или сигнала цветности определяют удельную электропроводность  $\sigma$ , магнитную проницаемость  $\mu$  и параметры дефектов изделия.

Так, если материал изделия в виде металлической немагнитной пластины однороден, то для всех точек ОИМП будет один и тот же уровень яркостного (цветности) сигнала, например  $u = 50$  при использовании шкалы в 100 уровней (градаций). Причем с учетом функции  $f = f(H_{\max})$  и  $H_{\max} = H_{\max}(t_{\max})$  этот уровень  $u = 50$  будет одинаковым для импульсов магнитного поля с любыми  $t_{i\max}$ , определяемым по формуле (2). Зная зависимости  $H_{\max} = H_{\max}(t_{\max})$ , а они уже внесены в измерительно-воспроизводящую систему, по заранее найденным зависимостям  $H_{\max}$  на поверхности изделий находят  $\sigma$  для других уровней сигнала  $u$  для пластины из другого немагнитного металла. Если в пластине на некоторой глубине имеется слой или участок с большей  $\sigma$ , уровень сигнала над ним на поверхности пластины будет уже не  $u = 50$ , а, например,  $u = 60$ , начиная с импульса длительность которого, скажем,  $t_{5\max}$ . Значит, этот слой находится на глубине  $5 \cdot \Delta$  в изделии. Аналогичным способом находят дефекты сплошности. Для них сигнал будет меньше, чем  $u = 50$ . В случае ферромагнитных металлов применяют импульсы с  $H_{\max}$  намного большими, чем  $H_{\max}$  неферромагнитных металлов, например в пять раз, для вывода датчиков магнитного поля в рабочий диапазон. Для ферромагнитных металлов предварительно получают экспериментально и рассчитывают зависимости  $H_{\max} = H_{\max}(t_{\max})$ , остальные действия такие же, как и для неферромагнитных металлов.

Для получения ОИМП в сечении выбирают в каждом ОИМП линию сечения с одними и теми же координатами для всех изображений, располагают эти линии с записанной на них информацией друг под другом в виде полос шириной  $\Delta$ , начиная с импульса с  $i = 1$  и заканчивая  $i = n$ . Таким образом, формируют оптическое изображение магнитных полей в сечении всех ОИМП, соответствующее распределению  $\sigma$  и  $\mu$  материала изделия и дефектов изделия в глубину по линии сечения. Для получения реальной картины распределения магнитного поля по глубине изделия вводят в соответствие координате  $z$  в глубину изделия координату  $z_i$  в оптическом изображении в сечении по формуле:

$$z_i = \left( i - \frac{1}{2} \right) \cdot \Delta, \quad (3)$$

т.е. по средней линии каждой полосы  $\Delta$ .

Поскольку каждый ОИМП несет в себе информацию о слое  $i \cdot \Delta$ , то для выделения участков изделия с иными свойствами следует информацию интересующей строки (полосы) отнимать в ОИМП в сечении от всех последующих. Например, при  $n = 128$  информация о неоднородностях появляется со строки  $i = 50$ , а, начиная со строки  $i = 60$

распределения в ОИМП всех последующих является одинаковой, то вычитая из них (с  $i = 61$  до  $i = 128$ ) эту информацию 60-й строки получают в изображении протяженность неоднородности в глубину с  $i = 50$  до  $i = 60$ , т.е. от  $Z_{50}$  до  $Z_{60}$ .

Для получения совместной картины с реальным изображением изделия находят оптическое изображение этого изделия и накладывают его на каждый ОИМП в одном масштабе с совмещением по точкам поверхностей изображений, а сечение оптического изображения изделия, которое получают путем среза по линии сечения, накладывают на сечение ОИМП.

Операцию совмещения оптических изображений путем наложения их друг на друга в позитиве или негативе, или в разной полярности, поясняются чертежами на фиг. 1.

На фиг. 1,а показан однородный материал 1 толщиной  $d$ , в котором имеется три участка с отличной от остального материала электропроводностью 2, 3 и 4, которые распространяются соответственно на всю толщину  $d$  материала и на слои толщиной  $h = 0,66d$  и  $h = 0,33d$  с отсчетом от нижней поверхности материала.

Здесь же показаны оптические изображения распределений магнитных полей на поверхности материала, полученные в результате воздействия на верхнюю поверхность материала импульсами магнитного поля с разными временами нарастания напряженности магнитного поля и разрешающие свойства слоев толщиной  $h$  с отсчетом от верхней поверхности: 5- $h = 0,33d$ ; 6- $h = 0,66d$ , 7- $h = d$  и оптическое изображение магнитных полей 8, полученное при сложении изображений 5, 6 и 7 при одном и том же нулевом уровне интенсивности (яркости) света.

За нулевой уровень интенсивности (яркости) света принят уровень черного в оптическом изображении, соответствующий однородному материалу.

Изображение магнитных полей от участков с отличной от остального материала удельной электропроводностью  $\sigma$ , показаны в виде светлых кругов с уровнем, отличным от уровня белого (с тремя чертами штриховки). Такое изображение назовем позитивным.

В результате сложений позитивных изображений (или изображений в позитиве) 5, 6, и 7 при нулевом уровне черного для них получаются изображение 8 сквозного участка 2, заштрихованное одной чертой, и изображения участков 3 и 4, заштрихованные соответственно двумя и тремя штрихами. Штрихи поставлены условно и соответствуют в изображении 8 уровням серого (от участка 2) - более серого (от участка 3) - еще более серого (от участка 4). Эти уровни составляют, например,  $0,75I$ ;  $0,50I$ ;  $0,25I$ , где  $I$  - интенсивность (яркость) света, соответствующая уровню белого. В цветном изображении они могут быть показаны, например, как круги зеленого, желтого и красного цвета. Отметим, что интенсивности (яркости) изображений полей участков 2, 3 и 4, начинающихся на разной глубине, в изображениях 5-7 не одинаковы. Более точно в изображении 7 их надо было обозначить так: изображение поля участка 2 - тремя штрихами, участка 3 - пятью штрихами, участка 4 - семью штрихами. Однако это значительно усложнило бы объяснение сложения изображений и принципиально ничего бы не изменило.

На фиг. 1,б показаны аналогичные оптические изображения распределений магнитных полей, которые по отношению к изображениям фиг. 1,а являются негативными. Здесь за нулевой уровень интенсивности (яркости) света принят уровень белого, в оптическом изображении соответствующий однородному материалу. В результате сложения изображений 5, 6 и 7 рис. 2 в негативе с одинаковым нулевым уровнем белого получается изображение 8.

На фиг. 1, в в качестве примера показаны операции вычитания изображений в негативе при одном и том же нулевом уровне белого. Изображение 8 получено при вычитании изображения 5 поля поверхностного слоя из изображения 7 и соответствует распределению  $\sigma$  в слое толщиной  $h = (0,33 \div 1,00)d$ , где  $d$  - толщина всего материала. Изображение 9 получено при вычитании изображения 6 из изображения 7 и соответствует распределению

$\sigma$  в слое толщиной  $h = (0,66 \div 1,00)d$ . Отсчет толщины ведется от верхней поверхности материала.

Неизвестные величины  $\sigma$  и  $\mu$  материала находят путем сравнения полученных изображений магнитного поля с предварительно найденными изображениями для известных материалов. Так, если необходимо определить величину  $\sigma$  для однородных диа- или парамагнитных металлов и толщина контролируемого материала известна, то находят абсолютную величину  $\sigma$  по уровню электрического сигнала, записанного в блоке памяти, или по уровню интенсивности (яркости) точек оптического изображения. Пусть амплитуда импульса магнитного поля в полволны равна  $H_1$ . Воздействуем на материал с датчиком магнитного поля этим импульсом и получим в блоке памяти сигнал, величина которого равна величине напряжения  $U_2$  и уровню интенсивности (яркости) в оптическом изображении, равному  $I_2$ . В отсутствие материала эти величины были равны соответственно  $U_1$  и  $I_1$ . Величина  $U_2$  больше величины  $U_1$ , например, в 1,5 раза, т.к. величина тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля на поверхности электропроводящего материала увеличивается за счет поля индукционных токов в материале. Это увеличение при данной толщине материала пропорционально величине  $\sigma$ .

Для материала такой же толщины, но с большей величиной  $\sigma$  увеличение  $U$  больше, например, в 1,7 раза и интенсивность (яркость) света  $I$  тоже будет больше в 1,7 раза при линейной зависимости  $I = I(U)$ .

Определив или оценив, таким образом, абсолютную величину  $\sigma$  в сравнении с эталонными величинами  $\sigma$  при разных  $t_{\text{imax}}$  и  $d$ , находят времена нарастания  $t_{\text{imax}}$  импульсов магнитного поля, соответствующие разрешению величины  $\sigma$  по слоям материала.

Аналогичным образом по эталонным величинам  $\mu$  для разных  $\sigma$ ,  $t_{\text{imax}}$  и  $d$  находят времена нарастания  $t_{\text{imax}}$  импульсов магнитного поля, для разрешения величины  $\mu$  по слоям материала. При этом величина тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля  $H$  над ферромагнитным материалом будет существенно меньше, чем в отсутствие материала, а  $\mu$  является динамической магнитной проницаемостью.

Операции деления и умножения по элементам памяти осуществляют следующим образом. Пусть датчиком магнитного поля является датчик Холла. При разном времени нарастания напряженности магнитного поля в полволны и одной и той же величине максимальной напряженности магнитного поля первичного источника величина суммарной напряженности магнитного поля (первичного и вторичного источников) на поверхности материала тем меньше, чем больше время нарастания импульса. Значит, и величина напряжения, записанная с датчика Холла, будет также меньше. Пусть эта величина меньше в 1,3 раза. Значит, для получения одинакового уровня сигнала от одного и того же участка однородного материала величину напряжения, снятого при большем времени нарастания импульса, следует умножить на 1,3 или разделить на 1,3 величину напряжения, снятого при меньшем времени нарастания импульса. Тогда при вычитании изображений магнитного поля, записанных в виде уровней электрического сигнала, получаем для однородного материала нулевой уровень сигнала. В то же время на участках поверхности материала, под которыми находятся материалы с другими свойствами, причем разрешенные более длительным импульсом и неразрешенные коротким, компенсации при вычитании сигналов не получится.

Кроме того, алгебраические операции сложения, вычитания, умножения и деления могут применяться для выделения информации во многих других случаях, например, для выделения изображения магнитного поля какого-либо участка материала и "стирания" изображений других неоднородных участков с переводом уровней их сигналов в нулевой или какой-либо другой уровень.

Величину  $H_{\text{max}}$  определяют из расчета того, чтобы вывести датчики магнитного поля (датчики Холла, магнитные носители, магнитооптические пленки) на рабочие участки, т.е. в диапазоны напряженности магнитного поля, на которые они рассчитаны.

# ВУ 14960 С1 2011.10.30

Измерения проводят в средних магнитных полях. При этом величину максимальной напряженности магнитного поля выбирают порядка  $1 \cdot 10^4$  А/м, что соответствует плотности энергии магнитного поля  $W_M = 63$  Дж. Для ферромагнитных материалов вследствие большой величины магнитной проницаемости  $\mu$  величина максимальной тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля  $H_{\max}$  на их поверхности во много раз меньше, чем в бесконечном воздушном пространстве в отсутствие материала. Поэтому и величина сигнала, снимаемого с датчика Холла, будет также значительно меньше. Величину магнитной проницаемости  $\mu$  определяют по предварительно найденным эталонам для известных материалов, причем это будет динамическая магнитная проницаемость.

Для выявления внутренних дефектов сплошности на разной глубине материала величина  $H_{\max}$  действующего поля должна обеспечивать промагничивание слоев ферромагнетика на разные глубины. В этом случае для создания на поверхности ферромагнетика максимальной напряженности магнитного поля порядка  $1 \cdot 10^4$  А/м следует воздействовать на ферромагнетик импульсным магнитным полем первичного источника с гораздо большей напряженностью магнитного поля, например с напряженностью  $H_{\max}$  в отсутствие ферромагнетика порядка  $(1 \div 10) \cdot 10^5$  А/м.

Источники информации:

1. А.с. СССР 452786 МПК G 01N 27/82, 1974.
2. Заявка ВУ а20060200, 2007.