

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **20074**

(13) **С1**

(46) **2016.04.30**

(51) МПК

G 01N 27/72 (2006.01)

(54) **СПОСОБ МАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ ФОРМЫ, ОРИЕНТАЦИИ И ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТА, ВЫПОЛНЕННОГО ИЗ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕГО МАГНИТНОГО МАТЕРИАЛА И ЗАКРЫТОГО ОТ ПРЯМОГО НАБЛЮДЕНИЯ ПЛОСКИМ ФЕРРОМАГНИТНЫМ ЭКРАНОМ**

(21) Номер заявки: а 20131085

(22) 2013.09.17

(43) 2015.04.30

(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 16816 С1, 2013.

ВУ 11266 С1, 2008.

ВУ 6102 С1, 2004.

ВУ 8826 С1, 2006.

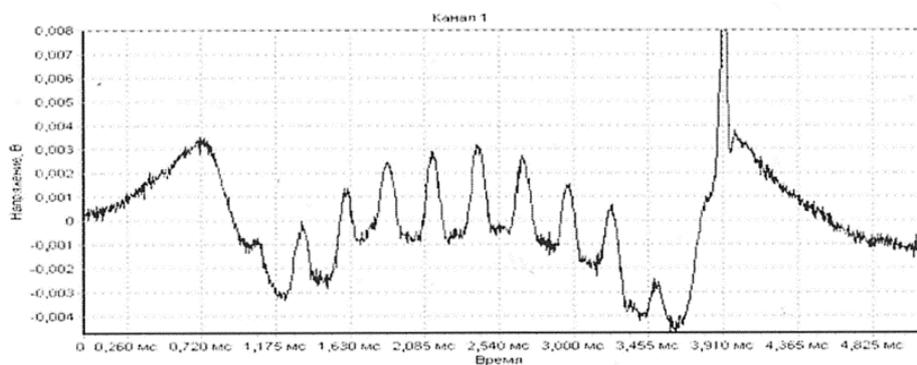
RU 2118816 С1, 1998.

SU 1573410 А1, 1990.

WO 2005/064268 А1.

(57)

1. Способ магнитного контроля формы, ориентации и физических свойств объекта, выполненного из электропроводящего магнитного материала и закрытого от прямого наблюдения плоским ферромагнитным экраном, в котором на указанный экран накладывают магнитный носитель, воздействуют на экран последовательностью импульсов магнитного поля линейного излучателя различной полярности с увеличивающимся от импульса к импульсу временем нарастания, по окончании воздействия последним импульсом с временем нарастания t_{\max} сканируют магнитный носитель считывающим устройством, считывая с него электрический сигнал, определяют величину максимальной напряженности вторичного магнитного поля экрана и находят по ней удельную электропроводность его материала и его толщину, используя для этого их предварительно полученные калибровочные зависимости от указанной максимальной напряженности, далее



Фиг. 4

ВУ 20074 С1 2016.04.30

осуществляют указанные выше операции на нескольких участках экрана и усредняют все полученные величины удельной электропроводности и толщины экрана, затем воздействуют на экран совместно с контролируемым объектом при разных ориентациях оси излучателя относительно них последовательностью импульсов магнитного поля различной полярности и амплитуды с увеличивающимся от импульса к импульсу временем нарастания, которое заведомо превышает величину t_{\max} , сканируют поверхность магнитного носителя считывающим устройством вдоль множества линий замера, каждая из которых параллельна проекции оси излучателя на указанную поверхность при соответствующем положении последнего, формируют и визуализируют распределение считанных вдоль каждой линии замера электрических сигналов, совмещают полученные визуальные картины друг с другом для формирования изображения всей поверхности магнитного носителя и затем определяют форму и ориентацию объекта по форме и ориентации присутствующего на указанном изображении участка, визуально резко отличающегося от других, а искомые свойства объекта - путем сравнения указанного изображения с соответствующими изображениями, полученными посредством контроля аналогичных эталонных объектов, размещенных под экраном, характеризующимся указанными выше усредненными значениями удельной электропроводности и толщины.

2. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что воздействие импульсами магнитного поля на экран при определении усредненных величин удельной электропроводности его материала и его толщины осуществляют при разных ориентациях оси излучателя относительно выбранного направления на поверхности экрана.

3. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что в качестве накладываемого на экран магнитного носителя используют магнитооптическую пленку или флюкс-детектор.

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 периодически повторяющимися импульсными магнитными полями и по параметрам взаимодействия этих полей со структурой материала определяют физико-механические свойства материала. Однако этот способ не обладает достаточной точностью контроля металлических объектов, находящихся за тонкими металлическими перегородками.

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 $H_{i_{\text{тм}}}$ по линии замера для каждого импульса, формируют оптическое изображение распределения в виде растра, измеряют $H_{i_{\text{тм}}}$, 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 растра. Однако этот способ обладает недостаточной точностью контроля металлических объектов, находящихся за тонкими металлическими перегородками.

Прототипом предлагаемого изобретения является способ магнитоимпульсного контроля дефектности, электрических и магнитных свойств объекта из магнитного или немагнитного электропроводящего материала [3], заключающийся в том, что на поверхность объекта, размещенную параллельно оси линейного индуктора, устанавливают дискретный магнитный носитель с чередующимися магнитными и немагнитными участками, воздействуют на объект серией из трех последовательных одиночных импульсов магнитного поля

соответственно прямой, обратной и снова прямой полярности с разными временами нарастания и с амплитудой, убывающей от импульса к импульсу, сканируют носитель считывающим устройством вдоль линии замера, совпадающей с проекцией оси индуктора на указанную поверхность, находят распределение электрического напряжения на выходе считывающего устройства вдоль линии замера, пропорционального в каждой точке этой линии максимальной тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля носителя, и формируют оптическое изображение указанного распределения, затем многократно перемещают образец относительно индуктора и аналогичным образом получают множество оптических изображений указанного распределения вдоль всего множества линий замера, и совмещают все указанные изображения друг с другом для формирования растрового изображения указанного распределения для всей поверхности магнитного носителя, а затем находят искомые свойства объекта путем сравнения полученных оптических изображений или растрового изображения целиком с соответствующими изображениями, полученными при тех же условиях посредством контроля аналогичных эталонных объектов с известными свойствами, при этом амплитуды всех импульсов магнитного поля подбирают, исходя из условия максимальной чувствительности величин указанного электрического напряжения на выходе считывающего устройства к изменению искомым свойств объекта относительно свойств эталонных объектов. Однако этот способ также обладает недостаточной точностью контроля параметров металлических объектов, находящихся за тонкими металлическими перегородками в непосредственной близости от них.

Задачей изобретения является повышение точности контроля электрических и магнитных свойств и параметров дефектов объектов из электропроводящих и магнитных материалов, находящихся в труднодоступных для контроля местах, например в металлических защитных кожухах, за тонкими металлическими перегородками и за электромагнитными экранами в непосредственной близости от них.

Поставленная задача достигается тем, что в способе магнитного контроля формы, ориентации и физических свойств объекта, выполненного из электропроводящего магнитного материала и закрытого от прямого наблюдения плоским ферромагнитным экраном, в котором на указанный экран накладывают магнитный носитель, воздействуют на экран последовательностью импульсов магнитного поля линейного излучателя различной полярности с увеличивающимся от импульса к импульсу временем нарастания, по окончании воздействия последним импульсом с временем нарастания t_{\max} сканируют магнитный носитель считывающим устройством, считывая с него электрический сигнал, определяют величину максимальной напряженности вторичного магнитного поля экрана и находят по ней удельную электропроводность его материала и его толщину, используя для этого их предварительно полученные калибровочные зависимости от указанной максимальной напряженности, далее осуществляют указанные выше операции на нескольких участках экрана и усредняют все полученные величины удельной электропроводности и толщины экрана, затем воздействуют на экран совместно с контролируемым объектом при разных ориентациях оси излучателя относительно них последовательностью импульсов магнитного поля различной полярности и амплитуды с увеличивающимся от импульса к импульсу временем нарастания, которое заведомо превышает величину t_{\max} , сканируют поверхность магнитного носителя считывающим устройством вдоль множества линий замера, каждая из которых параллельна проекции оси излучателя на указанную поверхность при соответствующем положении последнего, формируют и визуализируют распределение считанных вдоль каждой линии замера электрических сигналов, совмещают полученные визуальные картины друг с другом для формирования изображения всей поверхности магнитного носителя и затем определяют форму и ориентацию объекта по форме и ориентации присутствующего на указанном изображении участка, визуальное резко отличающегося от других, а искомые свойства объекта - путем сравнения указанного изображения с соответствующими изображениями, полученными посредством контроля аналогичных

эталонных объектов, размещенных под экраном, характеризующимся указанными выше усредненными значениями удельной электропроводности и толщины, при этом воздействие импульсами магнитного поля на экран при определении усредненных величин удельной электропроводности его материала и его толщины осуществляют при разных ориентациях оси излучателя относительно выбранного направления на поверхности экрана, а в качестве накладываемого на экран магнитного носителя используют магнитооптическую пленку или флюкс-детектор.

Сущность изобретения поясняется графиками на фиг. 1, 2, 3, 4, и 5, где изображены зависимости $U(t)$ величины электрического напряжения, снимаемого с индукционной магнитной головки (считывающее устройство), сканирующей магнитный носитель с записями магнитных полей, от времени (горизонтальная ось), соответствующего расстоянию до выбранной точки отсчета. В качестве излучателя импульсного магнитного поля использован линейный индуктор (проводник), ось которого располагали параллельно поверхности магнитного носителя. Изображения на фиг. 1-5 получены на экране монитора с использованием цифрового осциллографа, подключенного к компьютеру, при воздействии на магнитный носитель импульсом магнитного поля длиной в полволны с последующим выбросом магнитного поля обратного направления.

На фиг. 1, 2, 3 показана зависимость $U(t)$ для объекта из алюминия в виде пластины толщиной $1 \cdot 10^{-3}$ м и шириной $7 \cdot 10^{-3}$ м, накрытой пластиной (экран) из алюминия толщиной $4,2 \cdot 10^{-4}$ м. Линейный излучатель импульсного магнитного поля расположен над экраном и ориентирован перпендикулярно оси объекта. Экран надвигали на образец так, чтобы он полностью перекрывал объект от излучателя поля. Между объектом и экраном находилась прокладка из оргстекла толщиной $5 \cdot 10^{-4}$ м, что эквивалентно воздушной прослойке такой же толщины. Сканирование магнитного носителя магнитной головкой осуществляли в направлении, параллельном направлению проекции оси излучателя на магнитном носителе, на разных расстояниях от проекции оси. Эти расстояния на фиг. 1, 2, 3 соответственно равны $5 \cdot 10^{-3}$ м, $8 \cdot 10^{-3}$ м, $14 \cdot 10^{-3}$ м. Им соответствуют амплитуды напряжения над объектом $13 \cdot 10^{-3}$ В, $10,5 \cdot 10^{-3}$ В, $5,5 \cdot 10^{-3}$ В. Вдоль проекции оси излучателя амплитуда напряжения равна нулю. При смещении от проекции оси она возрастает, достигает максимума на расстоянии $5 \cdot 10^{-3}$ м от нее и с дальнейшим увеличением расстояния постепенно уменьшается, оставаясь еще значительной на расстоянии $17 \cdot 10^{-3}$ м. Таким образом, ширина контролируемой зоны при воздействии всего одним импульсом магнитного поля в данном случае составляет $34 \cdot 10^{-3}$ м (с двух сторон от проекции оси излучателя). Исключение составляет узкая полоса шириной около $1 \cdot 10^{-3}$ м непосредственно на проекции оси излучателя. В общем случае ориентация объекта за металлическим экраном неизвестна. Поэтому параметры объекта можно определить по максимуму амплитуды напряжения при измерениях с ориентацией оси излучателя под разными углами к выбранному направлению на поверхности контролируемого объекта.

На фиг. 4, 5 показаны аналогичные зависимости напряжения $U(t)$, воспроизведенного индукционной магнитной головкой при сканировании ею сплошного магнитного носителя с записями остаточных магнитных полей, полученными над объектом из алюминия в виде полос (зубьев) шириной $1,3 \cdot 10^{-3}$ м, толщиной $1,7 \cdot 10^{-3}$ м, длиной $1,5 \cdot 10^{-2}$ м и расстоянием между ними $1,3 \cdot 10^{-3}$ м. На зубья был положен лист из алюминия толщиной $7,0 \cdot 10^{-5}$ м (экран), перекрывающий объект от излучателя. Между зубьями и экраном была установлена прокладка из оргстекла толщиной $8,0 \cdot 10^{-4}$ м, что эквивалентно воздушной прослойке такой же толщины. На объект воздействовали импульсом магнитного поля со временем нарастания $t_{\max} = 6,5 \cdot 10^{-5}$ с без обратного выброса (фиг. 4) и импульсом магнитного поля с другой амплитудой, таким же t_{\max} и одним обратным выбросом (фиг. 5). Из сравнения фиг. 4 и 5 следует, что обратный выброс импульса магнитного поля при другой величине напряженности магнитного поля источника позволил увеличить амплитуду электрическо-

го напряжения от зубьев с $3 \cdot 10^{-3}$ до $11 \cdot 10^{-3}$ В. При этом уровень фонового сигнала существенно уменьшился за счет использования гистерезисных свойств магнитного носителя.

Изобретение осуществляют следующим образом.

Сначала находят удельную электропроводность σ и толщину d металлического экрана. Для этого накладывают преобразователь магнитного поля на экран и последовательно воздействуют на них одиночными импульсами магнитного поля с увеличением времени нарастания от импульса к импульсу. Находят величину максимальной напряженности магнитного поля и, пользуясь найденными зависимостями величины напряженности магнитного поля вторичного источника от толщины объекта и от времени нарастания импульса, определяют σ и d экрана. Прodelьывают указанные действия на нескольких участках экрана и находят средние значения $d_{\text{ср}}$ и $\sigma_{\text{ср}}$ экрана, на основании которых определяют время нарастания и амплитуду импульса, которым воздействуют на экран для получения информации о свойствах находящегося за ним объекта. Время нарастания этого импульса должно быть больше времени нарастания импульсов, которыми определяют толщину объекта.

Для повышения точности измерений найденный импульс дополняют выбросом магнитного поля противоположного направления, который позволяет компенсировать влияние полей, не содержащих полезный сигнал (сигнал об объекте) и выводить магнитный носитель на разные уровни в рабочем диапазоне магнитного носителя.

Затем на поверхность исследуемого объекта, размещенную параллельно оси линейного излучателя, устанавливают магнитный носитель, выбирают линию замера, воздействуют на объект найденным одиночным импульсом магнитного поля длиной в полволны с выбросом поля обратного направления. Снимают магнитный носитель с поверхности объекта, сканируют его индукционной магнитной головкой вдоль линий, параллельных проекции оси излучателя и получают на экране монитора зависимости $U(t)$ электрического напряжения от времени. Величина этого напряжения прямо пропорциональна максимальной тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля носителя. Записывают эти распределения электрического напряжения на элементы памяти.

Выделяют участки распределений $U(t)$ с отличным от остального экрана уровнем сигнала и формируют оптическое изображение объекта за металлическим экраном в виде растрового изображения (или последовательности точечных изображений) с линиями уровней сигнала подобно картам рельефа местности с уровнями высот и записывают их на элементы памяти.

Из фиг. 1, 2 и 3 следует, что можно задать уровень сигнала, равный, например, $3 \cdot 10^{-3}$ В, выше которого выделить изображение одним цветом. Тогда на растровом изображении с видом на экран сверху будет изображение объекта в виде полосы длиной около $1,6 \cdot 10^{-2}$ м с каждой стороны от проекции оси излучателя (от $1 \cdot 10^{-3}$ до $1,7 \cdot 10^{-2}$ м с двух сторон) и с боковыми изображениями полос от краев магнитного носителя.

Повторяют все указанные действия при разном смещении излучателя относительно первоначального положения и разных углах ориентации его оси относительно выбранного направления на поверхности объекта.

Таким образом, накладывают оптические изображения, полученные в разных местах контролируемого объекта и при разных ориентациях излучателя, и распознают параметры объекта (геометрические размеры, удельную электропроводность), корректируют его оптическое изображение, соответствующее распределениям магнитных полей магнитного носителя, совмещают все указанные изображения друг с другом для формирования изображения указанного распределения для всей поверхности магнитного носителя.

Удельную электропроводность материала объекта определяют, как и ранее для экрана, по предварительно найденным зависимостям амплитуды вторичного магнитного поля от времени нарастания импульса первичного поля. При этом учитывают влияние металлического экрана. И в этом случае используют эталонные распределения для экранов и объек-

тов с известными свойствами. Эталонные распределения позволяют оценить удаление объекта от экрана. Для того чтобы определить толщину объекта, воздействуют на экран последующими импульсами поля с увеличением времени нарастания и изменяя их амплитуду.

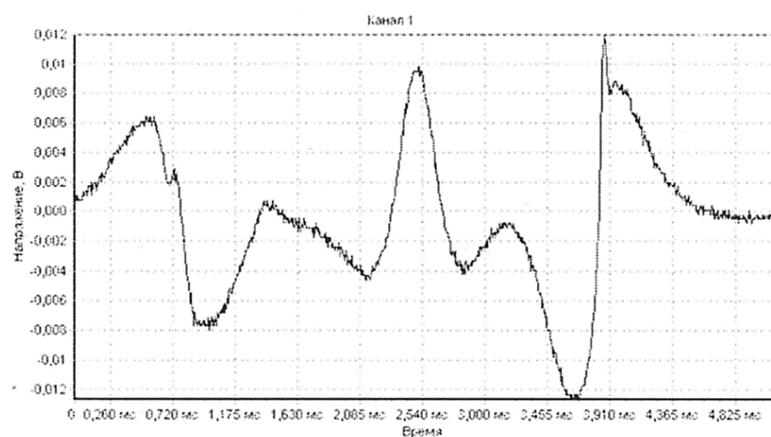
Использование импульсов магнитного поля с одним или несколькими сформированными выбросами позволяет выделять полезную информацию при записи на МП, устранять записи фона или уменьшать их влияние, осуществлять перераспределение уровней записи магнитных полей и в конечном счете повышать точность контроля.

С целью повышения точности и оперативности контроля сначала найденным импульсом магнитного поля воздействуют на преобразователь магнитного поля в виде магнитооптической пленки или флюкс-детектора, приложенный к металлическому экрану, и находят очертания контролируемого объекта. Это позволяет уменьшить количество измерений с помощью магнитного носителя.

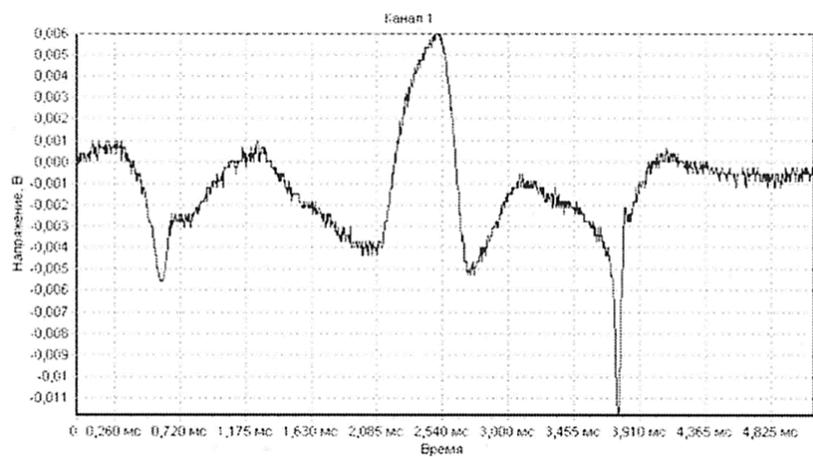
Идентификацию искомых свойств осуществляют сравнением параметров полученных изображений с параметрами эталонных изображений для объектов с известными свойствами. Если приблизительно известны параметры экрана и примерное местонахождение за ним объекта, то для получения изображения объекта за экраном из немагнитного электропроводящего материала достаточно одного импульса магнитного поля со временем нарастания около $1-10^{-4}$ с. При использовании преобразователя магнитного поля, действующего в реальном масштабе времени, время контроля будет такого же порядка.

Источники информации:

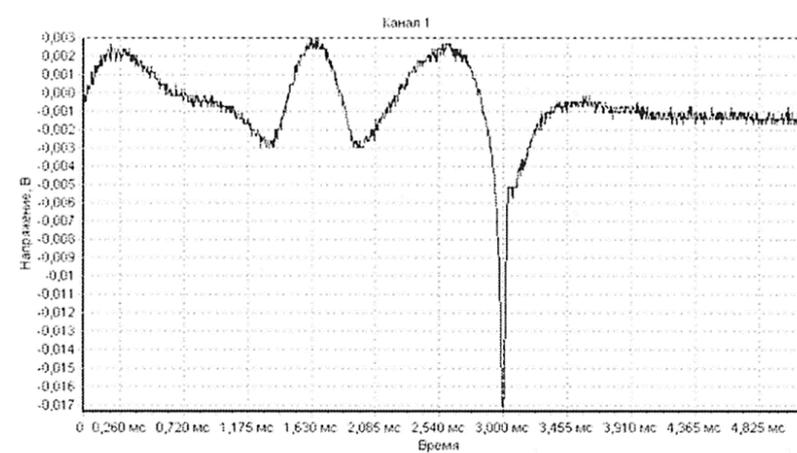
1. Методы неразрушающих испытаний / Под ред. Шарпа. - М.: Мир, 1972. - С. 394-412.
2. Патент ВУ 10464, МПК G 01N 27/00, 2008.
3. Патент ВУ 16816, МПК G 01N 27/72, 2013 (прототип).



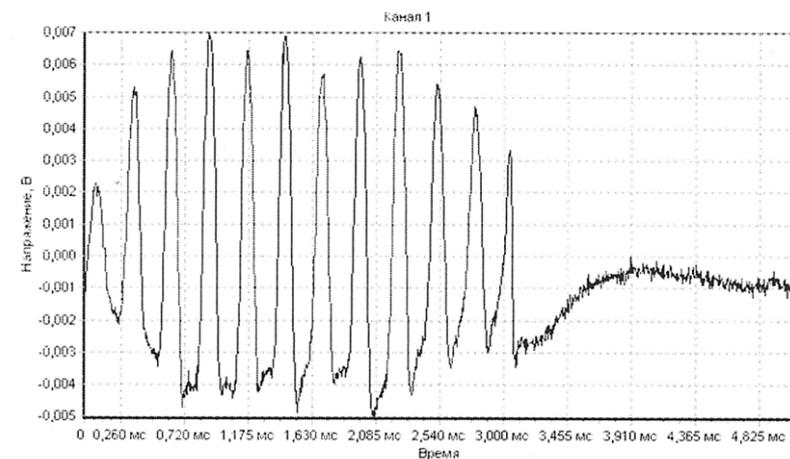
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 5