



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **СКОРРЕКТИРОВАННОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

Примечание: библиография отражает состояние при переиздании

(21)(22) Заявка: **99119837, 07.09.1999**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
07.09.1999

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **07.09.1999**

(45) Опубликовано: **20.05.2000**

(15) Информация о коррекции:
Версия коррекции №1 (W1 C1)

(48) Коррекция опубликована:
06.04.2020 Бюл. № 10

Адрес для переписки:

**111531, Москва, ш. Энтузиастов 98-4, кв.510,
Власову В.Т.**

(72) Автор(ы):

**Власов Валерий Тимофеевич (RU),
Марин Борис Никитич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

Чургель Анатолий Олегович (RU)

(54) **Устройство для диагностики трубопроводов**

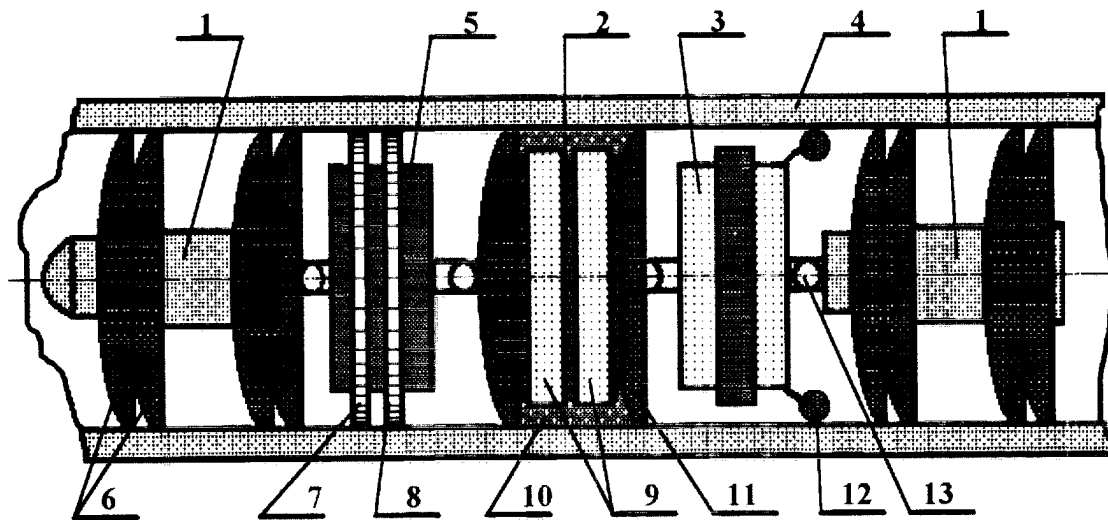
(57) Реферат:

Изобретение относится к диагностике состояния материалов и конструкций преимущественно из ферромагнитных материалов. Устройство содержит соединенные между собой один транспортирующий измерительный модуль и служебные модули. Измерительный модуль выполнен для измерения напряженности собственных магнитных полей, создаваемых в металле трубы скоплениями дислокаций и двойников, зародышей дефектов. Измерительный модуль включает в себя блоки датчиков нормальной и тангенциальной составляющих напряженности магнитного поля,

многоканальный преобразователь входных сигналов, многоканальный измеритель магнитной проницаемости металла трубы. Каждый из блоков датчиков содержит два датчика измерения тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля и датчик нормальной составляющей. Устройство может быть снабжено модулем ультразвуковой диагностики. Устройство обеспечивает получение количественной информации о степени опасности или активности зарождающихся и развивающихся трещин. 5 з.п. ф-лы, 5 ил.

С
9
7
6
3
6
4
1
2
R
U

R
U
2
1
4
9
3
6
7
С
9



Фиг. 1

RU 2149367 C9

RU 2149367 C9



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
G01L 1/12 (2006.01)
G01N 29/04 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

Note: Bibliography reflects the latest situation

(21)(22) Application: **99119837, 07.09.1999**

(24) Effective date for property rights:
07.09.1999

Priority:

(22) Date of filing: **07.09.1999**

(45) Date of publication: **20.05.2000**

(15) Correction information:
Corrected version no1 (W1 C1)

(48) Corrigendum issued on:
06.04.2020 Bull. № 10

Mail address:

**111531, Moskva, sh. Entuziastov 98-4, kv.510,
Vlasovu V.T.**

(72) Inventor(s):

**Vlasov Valerij Timofeevich (RU),
Marin Boris Nikitich (RU)**

(73) Proprietor(s):

Churgel Anatolij Olegovich (RU)

(54) **DEVICE FOR DIAGNOSTICS OF PIPELINES**

(57) Abstract:

FIELD: measurement.

SUBSTANCE: invention relates to diagnostics of materials and structures mainly from ferromagnetic materials. Device comprises interconnected one transporting measuring module and service modules. Measuring module is designed to measure the intensity of intrinsic magnetic fields created in a pipe metal by clusters of dislocations and twins and defects nuclei. Measuring module includes units of sensors of normal and tangential components of magnetic field intensity,

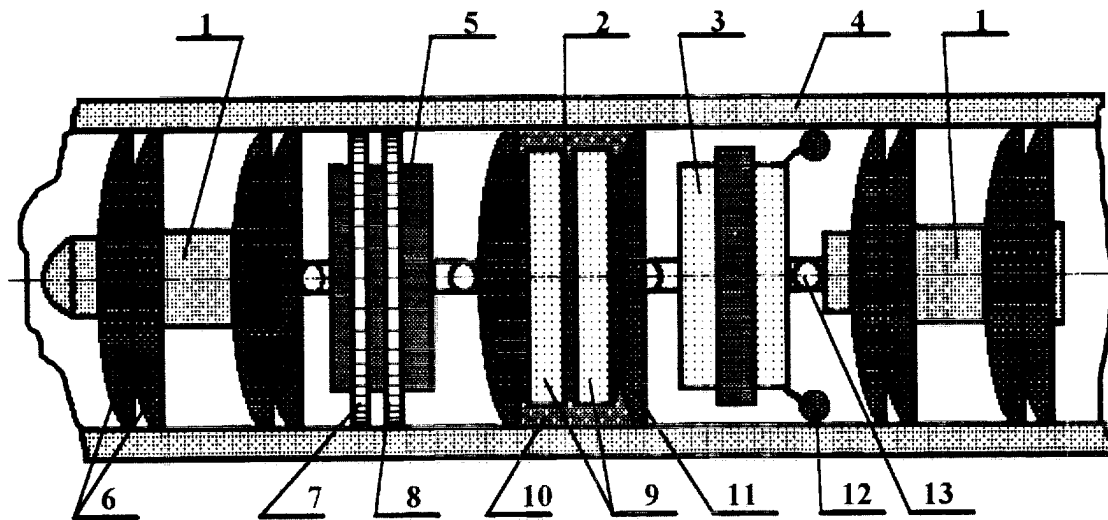
multichannel converter of input signals, multichannel gauge of magnetic permeability of pipe metal. Each of the sensor units comprises two sensors for measuring tangential component of magnetic field intensity and a normal component sensor. Device can be equipped with an ultrasonic diagnostic module.

EFFECT: device provides quantitative information on degree of hazard or activity of incipient and progressive cracks.

6 cl, 5 dwg

RU 2 149 367 C9

RU 2 149 367 C9



Фиг. 1

RU 2149367 C9

RU 2149367 C9

Предлагаемое изобретение относится к области диагностики состояния материалов и конструкций и может быть использовано при обследовании технологических и магистральных трубопроводов, в том числе газопроводов, а также трубопроводов первого контура АЭС внутритрубными диагностическими снарядами.

5 Известна внутритрубная ультразвуковая установка для контроля состояния трубопроводов, состоящая из транспортирующего модуля, несущего систему пьезоэлектрических преобразователей, электронные устройства возбуждения преобразователей, приема, усиления и обработки сигналов, а также блок определения координат зоны контроля и кабель для передачи информации в накопительное
10 устройство, расположенное вне трубопровода. Круговая решетка приемно-излучающих преобразователей осесимметрично расположена на некотором расстоянии от внутренней стенки трубы. Акустический контакт обеспечивается жидкостью - водой или нефтью, обычно находящейся в трубе [1].

Применение этого устройства ограничено, так как расположенные по кругу
15 преобразователи, одинаково перпендикулярно ориентированные к внутренней поверхности трубы, не позволяют выявлять трещины в металле, что приводит к низкой достоверности результатов контроля.

Общеизвестно большое количество вариантов устройств для ультразвукового контроля трубопроводов, представляющих собой диагностические снаряды,
20 перемещаемые внутри контролируемых трубопроводов потоком транспортируемого продукта и содержащие транспортирующий, измерительный и служебный модули, осуществляющие выявление дефектов металла трубопроводов ультразвуковыми колебаниями через жидкий транспортируемый продукт [2, 3]. Измерительный модуль таких устройств содержит акустическую приемно-излучающую систему, состоящую из
25 пьезоэлектрических преобразователей, закрепленную на корпусе модуля, многоканальный усилитель с первичной обработкой принятых сигналов, генератор возбуждающих импульсов. Служебный модуль содержит синхронизатор, блоки определения координат зоны контроля и параметров движения устройства, а также блок сортировки и первичной обработки собранной информации, блок накопления
30 информации и систему энергообеспечения.

Дефектоскопия всего объема металла трубы достигается тем, что применяют акустические системы, содержащие большое количество излучающих и приемных преобразователей, располагаемых таким образом, чтобы перекрывались участки
35 поверхности трубы, через которые вводят УЗ импульсы. Для выявления разноориентированных дефектов применяют две и более подобных систем, состоящих в общей сложности более чем из 500 ультразвуковых преобразователей, располагаемых под разными углами к оси трубы и требующих обеспечения определенной последовательности их работы для исключения взаимного влияния.

Очевидные недостатки известных способов и устройств - низкие достоверность и
40 производительность контроля, определяются малой информативностью сигналов и зависимостью выявляемости дефектов от их ориентации.

Однако общим серьезным недостатком упомянутых устройств являются ограничения области применения, связанные с необходимостью использования для создания надежного акустического контакта жидкости, заполняющей трубопровод. Это делает
45 невозможным использование таких устройств для диагностики газопроводов.

Известны варианты конструктивных решений, обеспечивающих возможность проведения диагностики газопроводов ультразвуковыми измерительными модулями. В качестве примера можно привести устройство, в котором применены гибкие манжеты,

закрывающие в трубе с обеих сторон измерительный модуль вместе с необходимым количеством контактной жидкости, образуя иммерсионную ванну, перемещающуюся вместе со всем устройством внутри контролируемой трубы [4].

5 Недостатком таких устройств является недостаточная достоверность результатов диагностики, обусловленная низкой надежностью акустического контакта и непредсказуемостью его изменений.

10 Известны устройства для диагностики трубопроводов преимущественно из ферромагнитных материалов, состоящее из транспортирующего и соединенных с ним измерительных и служебных модулей, обеспечивающих обработку первичной информации, запоминание результатов, определение координат и параметров движения устройства и энергоснабжение. Известное устройство [5] содержит два измерительных модуля: магнитный и ультразвуковой.

Ультразвуковой модуль, в принципе, не отличается от приведенных выше и имеет те же недостатки.

15 Измерительный магнитный модуль внутритрубного диагностического снаряда содержит намагничивающее устройство, систему датчиков измерения нормальной составляющей напряженности рассеиваемого дефектами магнитного поля, соединенных посредством коммутирующего устройства со входами многоканального усилительного блока, выходы которого через блок обработки соединены с запоминающим блоком.
20 Магнитный модуль в этом и других подобных устройствах не способен обнаружить трещины и дефекты типа расслоений, лежащих в плоскостях, параллельных силовым линиям создаваемого магнитного поля, что значительно снижает достоверность и полезность контроля таким дорогостоящим устройством.

25 Существенным недостатком магнитного измерительного модуля, ограничивающим область его применения, является то, что применяемые для создания магнитного поля в стенках трубы магнитопроводы, обычно выполняемые в виде щеток из стальной проволоки, склонны к искрообразованию, что категорически недопустимо в газопроводах, и повреждают внутреннюю поверхность трубы, что в ряде случаев недопустимо.

30 Однако главный недостаток всех известных устройств и традиционных способов, реализуемых ими, заключается в том, что они не позволяют определять степень опасности обнаруженных дефектов и, тем более, обнаруживать "зародыши" дефектов, быстро развивающиеся в условиях эксплуатации и приводящие к "внезапным" разрушениям, бездефектных по результатам традиционной дефектоскопии
35 трубопроводов.

Совершенно очевидно, что особую опасность представляют трубопроводы или их участки, у которых приблизился, а в ряде случаев уже наступил срок предполагаемого физического износа материала. Для таких трубопроводов острой актуальностью приобретают методы определения остаточного ресурса, с целью безопасного продления
40 срока их эксплуатации в реальных условиях, часто приводящих к непредсказуемым изменениям свойств материала. Как показывает практика, гарантировать безопасность эксплуатации таких объектов по результатам, полученным с применением только традиционных средств дефектоскопии, невозможно [6]. Дело в том, что дефектоскопия выявляет уже возникшие дефекты материала. Но дефекты - это конечная стадия
45 деградации материала, и часто время, оставшееся до разрушения конструкции, оказывается слишком малым для предотвращения катастрофы, так как процесс "подрастания" дефектов деградирующего материала в условиях эксплуатации слабо изучен и часто развивается лавинообразно. А если взять усталостные разрушения, то

и вовсе нельзя говорить о наличии дефектов в общепринятом смысле.

Кроме того, в процессе монтажа или эксплуатации трубопроводов могут возникать локальные тепловые или механические деформации трубы, а также не предусмотренные проектом искривления трубопроводов, вызывающие значительные механические напряжения, не учтенные расчетами конструкции на прочность и приводящие к интенсивным локальным изменениям свойств материала, обуславливающим появление значительного скопления дислокаций, являющегося "зародышем" дефекта. Особенно опасны локальные изгибные напряжения, характеризующиеся сменой знака напряжений и большим градиентом на ограниченном участке трубы. Отсутствие информации об участках с аномальными напряжениями не дает возможности правильно прогнозировать ресурс безопасной эксплуатации трубопроводов вследствие низкой достоверности определения степени опасности обнаруженных дефектов, не говоря уже о "зародышах" потенциально опасных дефектов. Все это существенно снижает эффективность результатов дорогостоящей диагностики трубопроводов.

Существенным недостатком всех известных средств определения характеристик напряженно-деформированного состояния металла труб и деталей конструкций является невозможность получения абсолютных количественных значений характеристик, показывающих степень близости фактически существующего напряженно-деформированного состояния в аномальных зонах материала трубы к критическому.

Главной задачей, решаемой предлагаемым изобретением, является повышение эффективности диагностики трубопроводов за счет обеспечения возможности обнаружения "зародышей" будущих дефектов, обусловленных аномалиями структуры материала, возникшими на стадии изготовления трубы или трубопровода в результате нарушения технологии, а также "зародышей" дефектов, обусловленных усталостной, термической или механической поврежденностью материала трубы и процессами деградации материала при длительной эксплуатации объекта.

Второй важной задачей, на решение которой направлено предлагаемое изобретение, является обеспечения возможности количественной оценки степени активности роста обнаруженных дефектов и "зародышей" будущих дефектов, а также количественной оценки изгибных напряжений, возникших в трубопроводе в процессе его монтажа или развившихся при его эксплуатации.

Дополнительными задачами, решаемыми предлагаемым изобретением, являются: обеспечение безопасности работы устройства, надежности при изменении диаметра диагностируемых трубопроводов, а также предохранение внутренних поверхностей трубы от повреждений и упрощение конструктивного выполнения измерительной системы внутритрубного диагностического снаряда.

Известно упоминание возможности выявления любых аномалий в стенках трубопровода [7]. Однако там речь идет всего лишь об аномалиях толщины стенки или качества поверхности трубы, т.е. о поверхностных дефектах, обнаруживаемых по изменению направления отражения УЗ импульсов.

Решение поставленных задач достигается тем, что в устройстве для диагностики трубопроводов преимущественно из ферромагнитных материалов, содержащем соединенные между собой транспортирующий, по крайней мере, один измерительный модуль и служебные модули для обработки и сортировки первичной информации, запоминания результатов диагностики, определения координат и параметров движения устройства и его энергопитания, измерительный модуль выполнен с возможностью измерения напряженности собственных магнитных полей, создаваемых в металле трубы скоплениями дислокаций и двойников, являющимися зародышами дефектов или

областями их интенсивного роста, и включает в себя блоки датчиков нормальной и тангенциальной составляющих напряженности магнитного поля, закрепленные на корпусе модуля по окружности, совпадающей с внутренней поверхностью контролируемой трубы, и многоканальный преобразователь входных сигналов, входы которого соединены с выходами блоков датчиков, а выходы с соответствующими входами служебного модуля обработки первичной информации.

Кроме того, в устройстве для диагностики трубопроводов каждый из блоков датчиков содержит два датчика измерения тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля и датчик нормальной составляющей, ориентированные соответственно вдоль оси трубы, по касательной к окружности расположения датчиков и по ее радиусу.

Кроме того, в устройстве для диагностики трубопроводов измерительный модуль снабжен многоканальным измерителем магнитной проницаемости металла трубы и коммутатором блоков датчиков, входы которого соединены с выходами датчиков тангенциальной составляющей, а выход соединен с дополнительным входом многоканального преобразователя входных сигналов.

Дополнительно, возможен вариант, когда в устройстве для диагностики трубопроводов измерительный модуль снабжен многоканальным измерителем магнитной проницаемости металла трубы с собственными датчиками, количество которых равно количеству блоков датчиков напряженности магнитного поля и которые установлены в непосредственной близости от последних на корпусе модуля по окружности так, чтобы в процессе диагностики датчики измерителя магнитной проницаемости находились за блоками датчиков напряженности магнитного поля.

Кроме того, в устройстве для диагностики трубопроводов все датчики и блоки датчиков подпружинены в радиальных направлениях.

И, наконец, для расширения функциональных возможностей устройство для диагностики трубопроводов может быть снабжено модулем ультразвуковой диагностики.

На фиг. 1-5 показаны варианты конструктивного выполнения устройства и чертежи, поясняющие принцип, используемый в работе устройства.

На фиг. 1 представлен вариант устройства для диагностики трубопроводов, в процессе проведения контроля газопровода, на фиг. 2 - вариант конструкции блока датчиков напряженности собственного магнитного поля дислокаций, на фиг. 3 - блок-схема измерительного модуля, на фиг. 4 - варианты возможного расположения скопления дислокаций, образующих наиболее опасные дефекты и на фиг. 5а, б, в - особенности конфигурации магнитных полей зародышей наиболее опасных дефектов.

Устройство для диагностики трубопроводов (см. фиг. 1) состоит из одно- или двухблочного транспортирующего модуля - 1, измерительного модуля - 2 и служебного модуля - 3, которые в процессе диагностики перемещаются внутри трубы - 4. Функции измерения напряженности собственного магнитного поля и магнитной проницаемости металла трубы могут быть реализованы в имеющемся в устройстве измерительном модуле, или, как показано на фиг. 1, сосредоточены в отдельном измерительном модуле - 5. Центрирование измерительных модулей и всего устройства относительно оси контролируемой трубы осуществляется упругими манжетами - 6, которые могут выполнять и роль "паруса", принимающего на себя давление транспортируемого газа или другого продукта и продвигающего по трубе все устройство. Для реализации функций измерения напряженности собственного магнитного поля и магнитной проницаемости металла трубы измерительный модуль - 5 содержит блоки датчиков нормальной и тангенциальной составляющих напряженности магнитного поля - 7,

закрепленные на корпусе модуля и расположенные по окружности, совпадающей с внутренней поверхностью трубы. В непосредственной близости от блоков датчиков напряженности магнитного поля, но вслед за ними, на корпусе отдельного модуля также по окружности установлены датчики магнитной проницаемости материала трубы - 8. Причем возможны варианты, когда тангенциальные датчики выполняют дополнительную функцию - датчиков измерения магнитной проницаемости. В качестве измерительного дефектоскопического модуля может применяться акустический модуль - 2, имеющий блоки преобразователей - 9. При этом для обеспечения акустического контакта применяются специальная контактная среда - 10, например гель, и герметизирующие манжеты - 11. Для питания электрической энергией всех потребителей устройства могут быть использованы генераторы, располагаемые в служебном модуле и работающие от приводных колес - 12, служащих одновременно измерителем пройденного пути и скорости устройства. Все модули соединены между собой карданными шарнирами - 13, обеспечивающими возможность отслеживания пространственных изгибов оси диагностируемой трубы.

Каждый блок датчиков - 7 измерительного модуля (см. фиг. 2) состоит из датчика нормальной или радиальной составляющей напряженности магнитного поля - 14, представляющего собой сердечник цилиндрической формы с намотанной на него приемной катушкой индуктивности; двух датчиков тангенциальной составляющей, представляющих собой скругленный П-образный или полукольцевой магнитопровод с приемными катушками индуктивности, причем один из датчиков - 15 ориентирован вдоль оси контролируемой трубы, а второй - 16 - перпендикулярно первому, по окружности трубы. Датчики расположены в корпусе - 17 из парамагнитного материала последовательно один над другим так, что торцевые - рабочие поверхности их магнитопроводов образуют симметричную пятилепестковую розетку и залиты магнитонепроницаемым компаундом - 18. Сердечники и магнитопроводы всех датчиков выполнены из магнитопроводящего материала с большой магнитной проницаемостью. Измерительные индуктивности датчиков связаны с блоками обработки посредством кабелей, экранированных друг от друга и от внешних линий (на чертеже не показаны).

Для обеспечения стабильных условий работы всех датчиков отдельного измерительного модуля - 5 при изменении диаметра контролируемых труб, корпуса блоков датчиков - 7 и 8 снабжены полуосями - 19, закрепленными на корпусе на минимальном расстоянии от рабочей плоскости датчиков и входящими в соответствующие втулки пластинчатой пружины - 20, закрепленной на корпусе модуля.

Работает устройство для диагностики трубопроводов следующим образом. Поток транспортируемого трубой продукта перемещает внутри трубы все устройство как поршень (см. фиг. 1). Блоки датчиков - 7 измерительного модуля - 3 измеряют составляющие вектора напряженности магнитного поля, создаваемого зарождающимися и растущими дефектами. Напряжения, наводимые магнитными полями в индуктивностях датчиков, передаются на многоканальный преобразователь входных сигналов - 21 (см. фиг. 3), предназначенный для усиления и первичного преобразования сигналов, соответствующих величинам нормальной, сдвиговой-окружной и сдвиговой-осевой составляющих напряженности магнитного поля. Непосредственно многоканальный преобразователь состоит из трех предварительных усилителей - 22, 23 и 24 измерителя напряженности магнитного поля и коммутируемого предварительного усилителя измерителя магнитной проницаемости - 25, блока аналого-цифрового преобразования - 26 и блока предварительной фильтрации и сжатия информации - 27. Каждый из трех предварительных усилителей, соединенный отдельными входами с соответствующими

выходами блоков датчиков, усиливает и коммутирует по заданной программе непрерывно поступающие от каждого из датчиков входные сигналы, преобразуя их в последовательность импульсов, амплитуда которых пропорциональна величине соответствующей измеряемой составляющей напряженности магнитного поля. С выходов предварительных усилителей сигналы поступают на три отдельных входа блока аналого-цифрового преобразования, а с выходов последнего - через блок предварительной фильтрации и сжатия информации, где происходит отсев избыточной информации о медленно меняющихся параметрах, передаются на соответствующие входы блока обработки и запоминания первичной информации - 28 служебного модуля - 3.

Источником дополнительной информации, необходимой для определения степени опасности зарождающихся и растущих дефектов, является многоканальный измеритель магнитной проницаемости, который, в случае использования датчиков тангенциальной составляющей, на короткое время, определяемое заданной программой диагностики, переключает их в активный режим измерения магнитной проводимости диагностируемого участка металла, по которой вычисляется магнитная проницаемость. Сигналы с входа многоканального измерителя магнитной проницаемости поступают на дополнительный вход блока аналого-цифрового преобразования, а с выходов последнего, проходя путь, аналогичный пути основных сигналов каналов напряженности магнитного поля, также передаются на соответствующий вход блока обработки и запоминания первичной информации служебного модуля.

В случае использования отдельных датчиков измерителя магнитной проницаемости, порядок работы легко понять, пользуясь блок-схемой (см. фиг. 3).

Представляется необходимым дать некоторые пояснения, касающиеся физического явления генерации зарождающимися и активно развивающимися дефектами собственных магнитных полей.

Сущность заложена в малоизвестных и неизученных в аспекте практического применения свойствах дефектов кристаллической структуры металлов - дислокаций. Дислокация, как реально существующий объект, обладает вполне реальными физическими свойствами, обусловленными несбалансированностью электромагнитных полей, вызванной локальным разрушением элементов кристаллической атомной решетки [8]. В случае ферромагнитного материала, элемент решетки представляет собой куб с атомами в его углах, а вся решетка - строгую пространственную структуру. Разрушение такого порядка проявляется как появление полуплоскости, являющейся своеобразным клином, на границах которого оказываются "оторванные" электрические заряды и спиновые моменты. Наличие избыточного количества свободных электронов проводимости по обе стороны границ позволяет компенсировать несбалансированность электрических зарядов, однако "новые" электроны не в состоянии компенсировать разность спиновых моментов, что приводит к появлению элементарного магнитного момента - источника собственного магнитного поля дислокации. Поскольку в материале, даже в ненапряженном состоянии, существует значительное количество дислокаций, то материал представляет собой совокупность произвольно ориентированных "магнитиков", создающих собственное интегральное магнитное поле материала. В идеальном - однородном изотропном материале напряженность магнитного поля, создаваемого магнитными моментами дислокаций, будет равна нулю. Но любая неоднородность материала, свойственная всем реальным материалам, вызывает перемещения и группирование дислокаций [9], что приводит к появлению скоплений дислокаций, которые имеют существенно большие магнитные моменты. Это и является

причиной неравномерности напряженности магнитного поля. Поскольку магнитное сопротивление ферромагнитных материалов мало, то магнитные потоки, создаваемые скоплениями дислокаций, векторно суммируясь, будут распространяться во всем объеме исследуемого материала с минимальными потерями, что дает возможность

5 регистрировать скопления дислокаций, находящихся не только на поверхности исследуемой детали, но и в толще материала, и даже на противоположной стороне детали. Этим объясняется высокая чувствительность способа, реализуемого предлагаемым устройством. Однако главное преимущество предлагаемого устройства, вытекающее из особенностей используемого явления, заключается в получении

10 количественной информации. Поскольку дислокация или их скопление является магнитным диполем, то сила, действующая на концы диполя - границы дефекта элемента кристаллической структуры - края будущей трещины, определяется следующей формулой:

$$F_z = B_z \cdot H_z \cdot S_d, \quad (1)$$

15 где: S_d - площадь поверхности, пронизываемая магнитным потоком;

B_z - проекция магнитной индукции на нормаль к поверхности изделия в зоне максимума напряженности, причем:

$$B_z = \mu_a \cdot H_z. \quad (2)$$

20 Но поскольку эта поверхность является поверхностью, на которую действует сила магнитного поля, то можно определить величину проекции напряжения, действующего в зоне дислокации или их скопления:

$$\sigma_z = F_z \cdot S_d = \mu_a \cdot (H_z)^2. \quad (3)$$

25 Таким образом, впервые реализуется количественная оценка величины внутренних напряжений, действующих в зоне зарождающегося или растущего дефекта.

Такой вариант позволяет определять характеристики напряженно-деформированного состояния материала тонких трубопроводов, испытывающих одноосные нагрузки. Проводя аналогичные операции непрерывно или дискретно вдоль трубопровода, можно

30 построить скалярное поле распределения внутренних напряжений.

Кроме того, сравнивая параметры сигналов, принятых диаметрально противоположно расположенными блоками датчиков, можно установить наличие изгибных напряжений и количественно определить их величину.

Для получения более полной информации о характеристиках напряженно-деформированного состояния материала трубопровода в реальных случаях сложного

35 нагружения необходимо дополнительно измерять две тангенциальных составляющих напряженности магнитного поля в тех же точках, где измеряется нормальная составляющая. Затем, используя очевидные вычисления, получить максимальное значение тангенциальной составляющей - H_ϕ и угол ϕ между направлением максимума тангенциальной составляющей и одной из осей используемой системы координат. При

40 этом вектор напряженности магнитного поля определяется модулем - $|H|$ и направляющими углами - ϕ и ξ . Для вычисления модуля - $|H|$ и угла в плоскости, нормальной к поверхности обследуемого объекта, - ξ используют следующие формулы:

$$|H| = [(H_z)^2 + (H_\phi)^2]^{0,5} \quad (4)$$

$$45 \quad \xi = \arctg(H_z \cdot H_\phi). \quad (5)$$

Затем, проведя вычисления, аналогичные описанным выше, можно получить полные характеристики вектора внутреннего напряжения в отдельной точке (локальной зоне) и построить векторные поля распределения внутренних напряжений в стенках

диагностируемой трубы.

Кроме того, если при вычислениях использовать информацию, получаемую ультразвуковым или другим измерительным модулем, а именно: значение расстояния до аномальной зоны - L , ее толщину - ΔL и площадь зоны - S_3 , то можно рассчитать

5 W_3 - величину энергии, запасенной в скоплении дислокаций и определяющей активность зарождения или роста трещины:

$$W_3 = 0,5 \cdot \mu_a \cdot |H|^2 \cdot S_3 \cdot \Delta L. \quad (6)$$

Здесь следует отметить, что приведенные формулы показывают идеологию расчета характеристик напряженно-деформированного состояния материала и могут служить для приближенных расчетов напряжений в тонкостенных трубах. В случае диагностики толстостенных трубопроводов, а также для получения более точных результатов необходимо учитывать геометрию зоны, что отразится на формулах введением функций, описывающих геометрию и характер распределения напряженности магнитного поля, и переходом к интегрированию по поверхности для внутренних напряжений и по объему для энергии. При этом для трубопроводов могут быть разработаны специальные программы.

Таким образом, предлагаемое устройство для ультразвуковой диагностики трубопроводов, благодаря обеспечению возможности обнаружения и количественной оценки зарождающихся и растущих дефектов, существенно повышает достоверность определения ресурса трубопроводов, что особенно важно для магистральных газопроводов и других труб, жизненно важных для особо ответственных объектов.

Источники информации

1. Я де Раад и др. Контроль и опыт, приобретенные при работе с ультразвуковыми внутритрубными установками. Доклад. VII Международная конференция "Морская механика и арктическая инженерия", Хьюстон, 1988 г.

2. Проспект фирмы Preusag Pipetronix (Германия), 1990 г., с. 10-12.

3. Установка для контроля трубопроводов. Проспект фирмы RTD (Голландия), 1990 г., с. 2-3.

4. Патент ФРГ, DE 19502764 A1, кл. G 01 N 29/04, 01.08.96.

5. Герман Розен. Новейшие разработки систем технического контроля трубопроводов на основе применения интеллигентных поршней и метода магнитного потока. Отчет фирмы "Розен инжиниринг", ФРГ, январь 1990 г.

6. Власов В. Т., Марин Б.Н., Лазуткин А. И. Стратегия повышения эксплуатационной надежности трубопроводов бортовых систем теплоснабжения. Доклад 2.27, 15.

Российская научно-техническая конференция "Неразрушающий контроль и диагностика", Москва, 28.06.-02.07.99 г.

7. Патент Великобритании, заявка GB N 2147102, кл. G 01 N 29/04, 01.05.85 г.

8. Ч. Киттель. Элементарная физика твердого тела. - М.: Наука, 1969 г.

9. Фридман Я. Б. Механические свойства металлов. Ч. 1. Деформация и разрушение. - М.: Машиностроение, 1974 г.

(57) Формула изобретения

1. Устройство для диагностики трубопроводов преимущественно из ферромагнитных материалов, содержащее соединенные между собой транспортирующий, по крайней мере, один измерительный модуль и служебные модули для обработки и сортировки первичной информации, запоминания результатов диагностики, определения координат и параметров движения устройства и его энергопитания, отличающееся тем, что

измерительный модуль в нем выполнен с возможностью измерения напряженности собственных магнитных полей, создаваемых в металле трубы скоплениями дислокаций и двойников, являющимися зародышами дефектов или областями их интенсивного роста, и включает в себя блоки датчиков нормальной и тангенциальной составляющих напряженности магнитного поля, закрепленные на корпусе модуля по окружности, совпадающей с внутренней поверхностью контролируемой трубы, и многоканальный преобразователь входных сигналов, входы которого соединены с выходами блоков датчиков, а выходы - с соответствующими входами служебного модуля обработки первичной информации.

2. Устройство для диагностики трубопроводов по п.1, отличающееся тем, что каждый из блоков датчиков содержит два датчика измерения тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля и датчик нормальной составляющей, ориентированные соответственно вдоль оси трубы, по касательной к окружности расположения датчиков и по ее радиусу.

3. Устройство для диагностики трубопроводов по п.1 или 2, отличающееся тем, что измерительный модуль снабжен многоканальным измерителем магнитной проницаемости металла трубы и коммутатором блоков датчиков, входы которого соединены с выходами датчиков тангенциальной составляющей, а выход соединен с дополнительным входом многоканального преобразователя входных сигналов.

4. Устройство для диагностики трубопроводов по п.1 или 2, отличающееся тем, что измерительный модуль снабжен многоканальным измерителем магнитной проницаемости металла трубы с собственными датчиками, количество которых равно количеству блоков датчиков напряженности магнитного поля, и которые установлены в непосредственной близости от последних на корпусе модуля по окружности так, чтобы в процессе диагностики датчики измерителя магнитной проницаемости находились за блоками датчиков напряженности магнитного поля.

5. Устройство для диагностики трубопроводов по любому из пп.1-4, отличающееся тем, что все датчики и блоки датчиков подпружинены в радиальных направлениях.

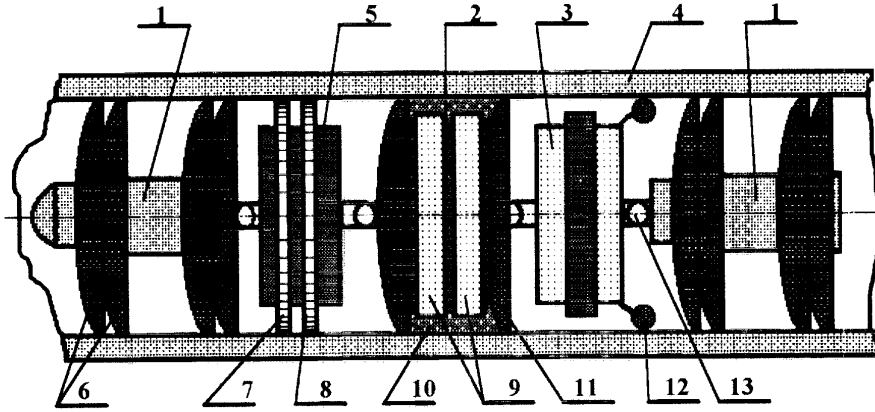
6. Устройство для диагностики трубопроводов по любому из пп.1-5, отличающееся тем, что оно снабжено модулем ультразвуковой диагностики.

35

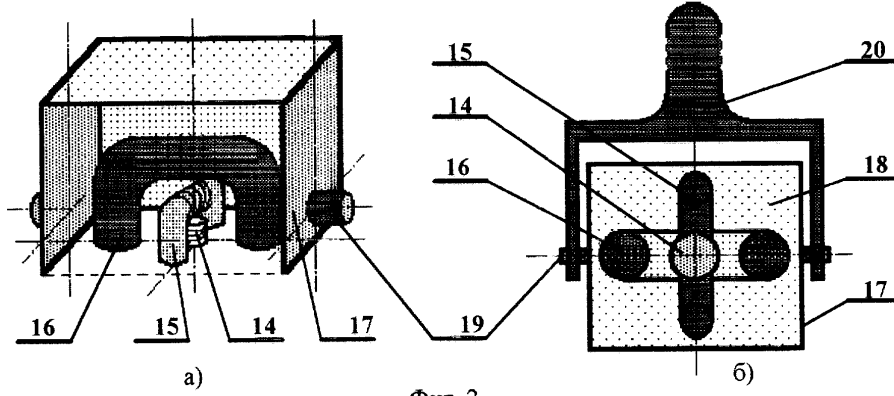
40

45

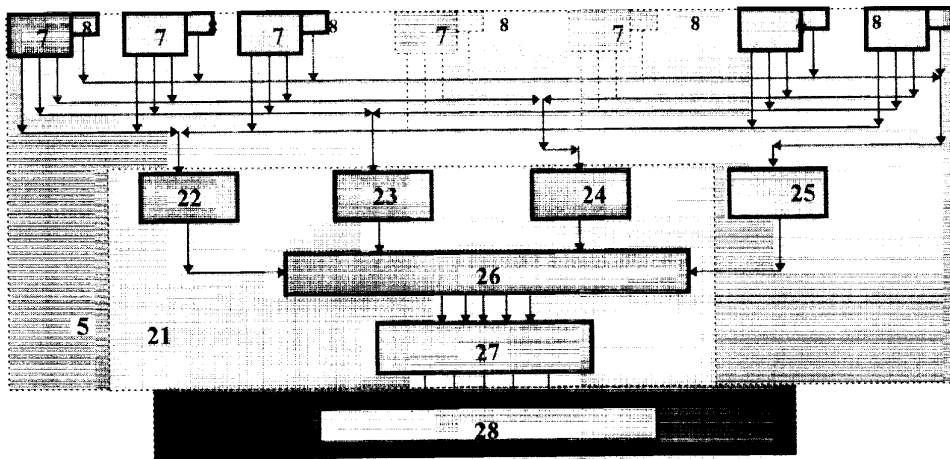
1



Фиг. 1

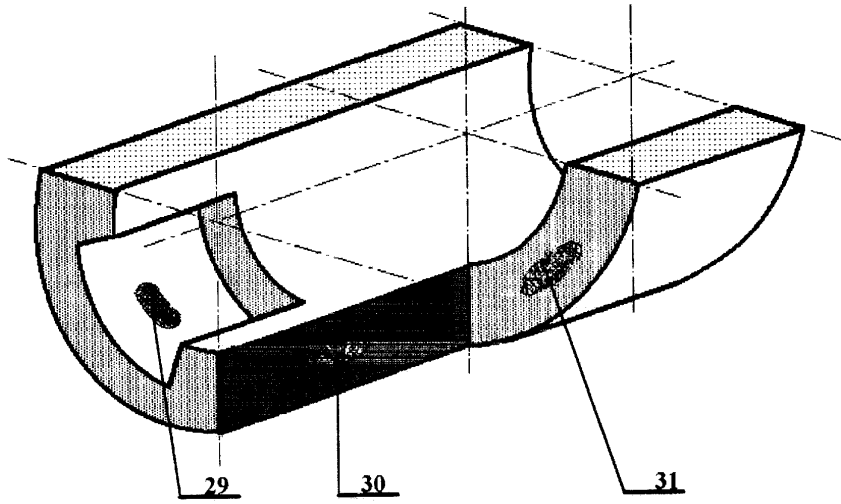


Фиг. 2

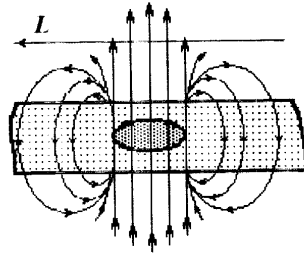
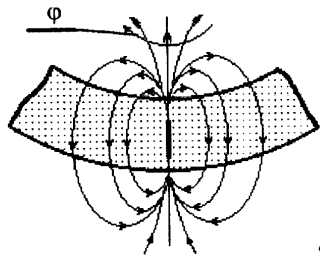


Фиг. 3

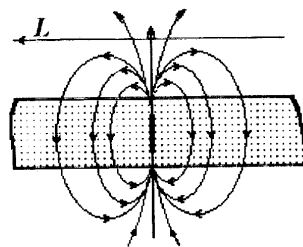
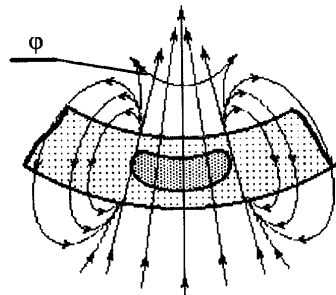
2



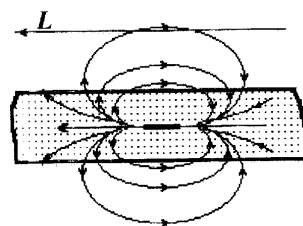
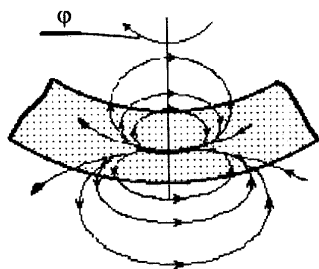
Фиг. 4



Фиг. 5а



Фиг. 5б



Фиг. 5в