

нацелены на расширение объема данных, улучшению моделей и более глубокому анализу магнитных свойств материалов, повышению чувствительности измерения напряжённости магнитного поля рассеяния локальной остаточной намагниченности [5], введение двухпараметрового магнитного контроля [6].

Список литературы

1. Бида Г.В. Магнитный контроль механических свойств проката / Г.В. Бида, Э.С. Горкунов., В.М. Шевнин. – Екатеринбург : УрО РАН, 2002. – 254 с. – Текст : непосредственный.
2. Новиков В.Ф. Зависимость коэрцитивной силы малоуглеродистых сталей от одноосных напряжений (часть 2) / В.Ф. Новиков, Т.А. Яценко, М.С. Бахарев.–Текст: непосредственный //Дефектоскопия.– 2002.– № 4. – С.11–17
3. Мельгуй М.А. Магнитный контроль механических свойств сталей / М.А. Мельгуй. – Минск: Наука и техника,1980. – 184 с. –Текст: непосредственный
4. Грас Д. Data Science. Наука о данных с нуля / Д. Грас. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2022. – 416 с. – Текст: непосредственный.
5. Сандомирский С.Г. Повышение чувствительности остаточной намагниченности среднеуглеродистой стали к ее твердости / С.Г. Сандомирский. – Текст: непосредственный // Актуальные вопросы машиноведения. – 2021. – Т. 10. – С. 316–320.
6. Сандомирский С.Г. Условия повышения достоверности двухпараметрового косвенного измерения свойств сталей по сравнению с однопараметровым / С.Г. Сандомирский. – Текст: непосредственный // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов : сборник статей 7-й Международной научно-технической конференции. – Могилев, 2020. – С. 170–176.

УДК 620.179.14

ИЗМЕРЕНИЕ ВНУТРЕННЕГО ДИАМЕТРА ТРУБ ПРИ ПОМОЩИ ВИХРЕТОКОВОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ

Мелехина Екатерина Сергеевна, Гольдштейн Александр Ефремович
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: esm19@tpu.ru, algol@tpu.ru

MEASURING THE INNER DIAMETER OF PIPES USING THE EDDY CURRENT CONTROL METHOD

Melekhina Ekaterina Sergeevna, Goldstein Alexander Efremovich
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

Аннотация: в статье приводится конструкция измерителя внутреннего диаметра труб на основе вихретокового метода контроля с применением накладного трансформаторного вихретокового преобразователя. Описывается устройство и принцип работы измерителя, а также предлагается вариант по его конструктивному улучшению с целью решения проблемы зависимости амплитуды вносимого напряжения преобразователя от смещения его зонда относительно координатных осей. Улучшенная конструкция позволяет получать абсолютную погрешность измерения внутреннего диаметра труб не более 0,35 мм.

Abstract: the paper presents the design of a pipe inner diameter meter based on an eddy current control method using an overhead transformer eddy current converter. The device and the principle of operation of the meter are described, and an option for its constructive improvement is proposed in order to solve the problem of the dependence of the amplitude of the input voltage of the converter on the displacement of its probe relative to the coordinate axes. The improved design makes it possible to obtain an absolute measurement error of the inner diameter of pipes of no more than 0.35 mm.

Ключевые слова: вихретоковый метод контроля; вихретоковый преобразователь; измерение внутреннего диаметра трубы; измерительный зонд; амплитуда вносимого напряжения.

Keywords: eddy current control method; eddy current transducer; measurement of the inner diameter of the pipe; measuring probe; amplitude of the input voltage.

На сегодняшний день трубы широко используются в промышленной области, так как они являются ключевыми элементами многих конструкций. Однако на них в процессе эксплуатации оказывают влияние механические воздействия и коррозия, в результате чего происходит изменение их внутреннего диаметра [1]. Измеряя внутренний диаметр труб можно контролировать процесс их износа. Таким образом, контроль внутреннего диаметра труб является актуальной задачей в области неразрушающего контроля.

Существуют разные методы контроля диаметра труб. В качестве основных методов выделяют, как правило, оптический, механический, акустический и вихретоковый [2]. Для дальнейшей работы было решено выбрать вихретоковый метод контроля, так как его преимуществами перед другими методами является возможность бесконтактного проведения контроля объекта. Это, в свою очередь, позволяет свободно перемещать преобразователь относительно объекта контроля при высоких скоростях [3]. В качестве другого преимущества метода следует отметить тот факт, что влияние влажности, давления и газовой загрязненности среды на сигналы преобразователя минимальны [4].

В данное время разработано большое количество разновидностей вихретоковых преобразователей (далее – ВТП).

Так, для контроля внутреннего диаметра труб был выбран накладной трансформаторный ВТП. Его преимуществом является слабая зависимость выходного сигнала преобразователя от температуры.

На рисунке 1 приведена конструкция используемого в работе ВТП.

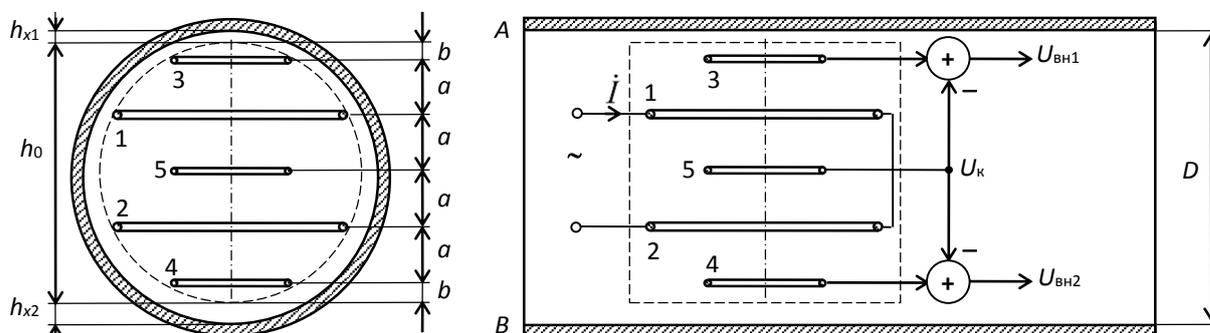


Рисунок 1 – Конструкция вихретокового преобразователя внутри контролируемой трубы:

1, 2 – обмотки возбуждения; 3, 4 – обмотки измерения; 5 – обмотка компенсационная

Обмотки возбуждения, которые используются в конструкции преобразователя, имеют одинаковое число витков. Кроме того, одинаковое число витков также имеют и обмотки измерений. Компенсационная же обмотка имеет число витков пропорционально связанное с числом витков измерительных обмоток, но таким образом, чтобы их соотношение обеспечивало равенство начальных напряжений этих обмоток.

Через последовательно соединенные и согласно включенные обмотки возбуждения протекает переменный ток, который создает переменное магнитное поле. Это магнитное поле наводит вихревые токи в поверхностном слое трубы, в которую помещается зонд. Для измерения вихревых токов в конструкции зонда применяются измерительные обмотки, а для компенсации их начальных напряжений используется компенсационная обмотка.

Конструктивно блок ВТП изображен на рисунке 2, где представлен в виде цилиндрического измерительного зонда. Для беспрепятственного продольного перемещения этого зонда должно выполняться следующее условие: внутренний диаметр контролируемой трубы должен быть больше наружного диаметра измерительного преобразователя.

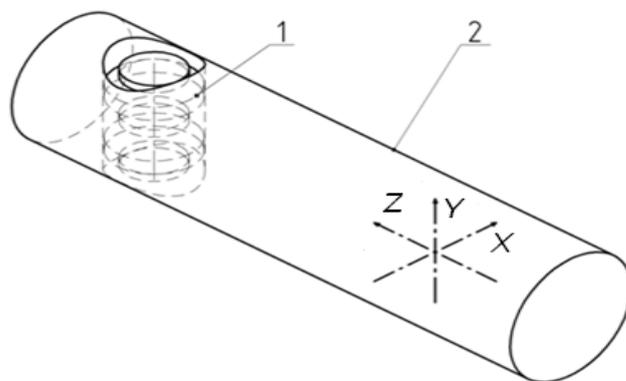


Рисунок 2 – Общий вид измерительного зонда: 1 – ВТП, 2 – корпус

Таким образом, получается, что задача, связанная с измерением диаметра труб, приводится к задаче измерения зазоров между поверхностью электропроводящего объекта которые на рисунке 1 обозначены, как h_1 и h_2 , и самими преобразователями.

Схема, иллюстрирующая устройство, позволяющего выполнять измерения при помощи описанного ранее вихретокового метода контроля, представлена на рисунке 3.

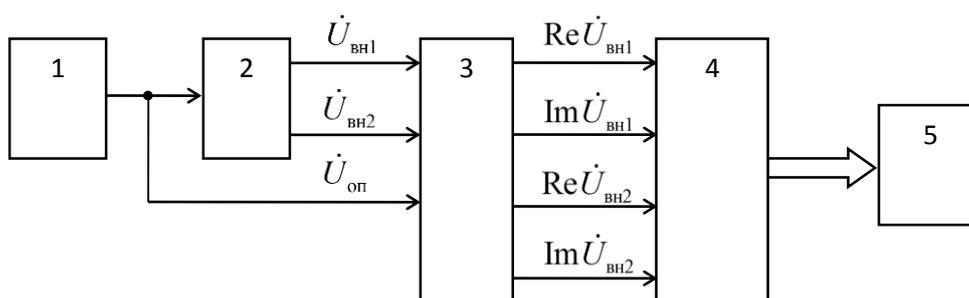


Рисунок 3 – Структурная схема метода измерения внутреннего диаметра

В составе структурной схемы, изображенной на рисунке 3, имеется генератор высокочастотного гармонического сигнала 1, зонд для проведения измерений 2, содержащий в себе два накладных ВТП, и блок аналогового амплитудно-фазового преобразования 3 с платой сбора данных 4 и персональным компьютером 5.

Персональный компьютер выполняет вычислительную функцию, которая включает в себя цифровую фильтрацию сигналов и определение амплитуд вносимых напряжений \dot{U}_{vn1} и \dot{U}_{vn2} . Также при помощи персонального компьютера выполняется расчет зазоров h_1 и h_2 и вычисление значений внутреннего диаметра трубы D . В свою очередь, внутренний диаметр рассчитывается по следующей формуле 1 [5]:

$$D = h_1 + h_2 + h_0, \quad (1)$$

где h_0 – диаметр зонда.

Прежде чем поступить на плату сбора данных и затем в персональный компьютер на дальнейшую обработку, гармонические сигналы, содержащие в себе измерительную информацию, в виде напряжения выходят с зонда и обрабатываются амплитудно-фазовыми детекторами, где преобразуются в постоянные напряжения, пропорциональные действительным и мнимым составляющим вносимых напряжений, и затем уже только преобразуются в цифровую форму.

После всех выполненных вычислений на последнем этапе происходит сравнение полученного значения диаметра трубы с пороговыми значениями, которые устанавливаются на каждую трубу в паспорте объекта контроля, и выводятся результаты на индикатор.

В качестве недостатка приведенного устройства измерения можно выделить зависимость амплитуды вносимого напряжения ВТП от смещения самого преобразователя в контролируемой трубе в направлении оси X и Y . При таком смещении зонда наблюдается уменьшение измеренного значения зазора и увеличение амплитуды сигнала.

В качестве решения указанной проблемы было решено использовать вторую пару накладных ВТП, которые по своей конструкции имеют одинаковое исполнение с первой. Однако, в отличие от первой пары, вторая пара ВТП была расположена перпендикулярно относительно продольной оси измерительного зонда. На рисунке 4 представлен вид модернизированной конструкции.

Две ортогональные пары вихретоковых преобразователей проводят измерения поперечных смещений улучшенного зонда вдоль осей X и Y . Это позволяет отстроиться от влияния этих смещений на результат измерения.

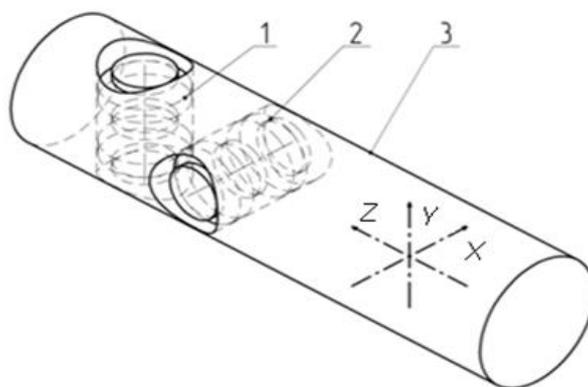


Рисунок 4 – Общий вид модернизированного измерительного зонда:
1, 2 – ВТП, 3 – корпус

Таким образом, рассмотренный в работе метод измерения внутреннего диаметра труб дает улучшенный результат в условиях радиальных смещений зонда внутри контролируемого объекта. Это было подтверждено, в свою очередь, результатами испытаний, которые показали, что рассматриваемый метод дает низкую абсолютную погрешность измерения внутреннего диаметра (не более 0,35 мм по модулю). Если рассматривать результаты, которые были получены при измерении зондом с одной парой ВТП, то они имеют абсолютную погрешность измерения, которая в несколько раз превосходит погрешность, полученную с использованием улучшенной конструкции.

Список литературы

1. Ван Юй. Измерение внутреннего диаметра труб внутренним проходным ВТП / Юй Ван // Вестник науки Сибири. – 2014. – Т.14. – С. 67–74.
2. Ключев В.В. Неразрушающий контроль: справочник / В.В. Ключев. – Москва: Машиностроение, 2008. – 688 с.
3. Шубочкин А.Е. Развитие и современное состояние вихретокового метода неразрушающего контроля: монография / А.Е. Шубочкин. – Москва: Издательский дом «Спектр», 2014. – 288 с.
4. Вихретоковый контроль внутреннего диаметра труб / А.Е. Гольдштейн, В.Ф. Булгаков, Е.В. Якимов, Е.И. Уразбеков // Ползуновский вестник. – 2012. – №3/2. – С.174–179.
5. Киселев Е.К. Измерение внутреннего диаметра проводящей трубы с применением вихретокового преобразователя / Е.К. Киселёв, А.Е. Гольдштейн // Ползуновский вестник. – 2017. – № 2. – С.59–62.