

АНАЛИЗ МЕТОДОВ БЕЗКОНТАКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Барбашова М.В., ассистент кафедры физики, ХНАДУ,
Радченко Е. С., студент, ХНАДУ

Аннотация. В статье проведен анализ традиционных и современных методов измерения удельной электропроводности. Показаны преимущества применения бесконтактного метода измерения удельной электропроводности, основанного на взаимодействии двух «встречных» магнитных полей от источников поля – индукторов в практике магнитно-импульсной обработке металлов.

Ключевые слова: удельная электропроводность, магнитное поле, магнитно-импульсные технологии.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ З ВИКОРИСТАННЯМ МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Барбашова М.В., ассистент кафедры физики, ХНАДУ,
Радченко Е. С., студент, ХНАДУ

Анотація. У статті проведено аналіз традиційних і сучасних методів вимірювання питомої електропровідності. Показано переваги застосування безконтактного методу вимірювання питомої електропровідності, заснованого на взаємодії двох «зустрічних» магнітних полів від джерел поля - індукторів в практиці магнітно-імпульсної обробки металів.

Ключові слова: удельная электропроводность, магнитное поле, магнитно-импульсные технологии.

ANALYSIS METHODS NONCONTACT MEASUREMENT OF ELECTRIC PROPERTIES USING MAGNETIC-PULSED TECHNOLOGY

M. Barbashova, assistant, KhNAHU, E. Radchenko, student, KhNAHU

Abstract. The article analyzes the traditional and modern methods of measuring the electrical conductivity. The advantages of the use of non-contact method of measuring the electrical conductivity based on the interaction of two "colliding" magnetic fields from sources of the field - in practice, inductors magnetic pulse metal processing.

Keywords: electrical conductivity, magnetic field, magnetic-pulsed technology.

Введение

Практическое использование энергии импульсных электромагнитных полей открывает исключительные перспективы для создания

прогрессивных технологий по обработке материалов любой физической природы. С обострением основных проблем современности в области экология, энерго- и ресурсосбережения, возрастает необходимость в развитии

новых технологий, например, основанных на магнитно-импульсной обработке металлов (МИОМ). Мировое промышленное производство требует дальнейшего расширения технологических процессов, где магнитно-импульсные методы обладают весомыми преимуществами в сравнении с известными механическими или химическими аналогами. Особое место здесь занимают производственные операции по магнитно-импульсному притяжению заданных участков плоских металлических поверхностей [1].

В практике МИОМ используются образцы различных металлов и их сплавов, что обусловлено их экономическими и техническими показателями, такими как прочность, доступность в обработке и обслуживании, массогабаритные показатели и другими. В связи с этим, остро встает вопрос о точных измерениях электрофизических параметров (например, удельной электропроводности) обрабатываемого металлического элемента. От этого зависит выбор, как способа, так и метода самой обработки и, соответственно, качество и эффективность обработки (ремонта, рихтовки, восстановления).

В настоящее время известен ряд методов измерения удельного сопротивления и электропроводности. Выбор того или иного метода и измерительной техники при решении каждой конкретной задачи зависит от многих условий: вида измеряемого параметра, интервала его значения, требуемой точности измерения, особенностей объекта измерения и т. п. [2].

В связи с этим, **целью работы** является предложение возможных методов измерения удельной электропроводности, которые бы полностью удовлетворяли требованиям, необходимым для определения данного параметра в магнитно-импульсной обработке металлов (МИОМ).

Результаты исследования

Рассмотрим основные традиционные методы измерения электрофизических параметров:

- метод амперметра и вольтметра;
- логометрический;
- мостовой.

Метод амперметра и вольтметра (косвенный метод). Этот метод основан на раздель-

ном измерении тока в цепи измеряемого сопротивления и напряжения на его зажимах и последующим вычислении значения сопротивления (закон Ома) по показаниям измерительных приборов. Достоинство метода заключается в простоте его реализации, недостаток – в сравнительно невысокой точности результата измерения, которая ограничена классом точности применяемых измерительных приборов и методической погрешностью. Последняя обусловлена влиянием мощности, потребляемой измерительными приборами в процессе измерения, другими словами – конечным значением собственных сопротивлений амперметра и вольтметра [2].

Логометрический метод. Этот метод основан на измерении отношения двух токов, один из которых протекает по цепи с измеряемым сопротивлением, а другой – по цепи, сопротивление которой известно. Оба тока создаются одним источником напряжения, поэтому нестабильность последнего в известных пределах практически не влияет на точность результата измерения. Принципиальная схема содержит измерительный механизм на основе логометра магнитоэлектрической системы с двумя рамками. Измеряемое сопротивление может быть включено последовательно или параллельно относительно рамки измерительного механизма.

Напряжения питания логометра влияет на чувствительность его измерительного механизма к изменению измеряемого сопротивления и не должно быть ниже определенного уровня. Обычно напряжение питания логометров устанавливают с некоторым запасом по отношению к минимальному допустимому уровню для того, чтобы его возможные колебания не влияли на точность результата измерения [2].

Мостовой метод. Мосты постоянного тока предназначены для измерения малых и средних сопротивлений. Они являются приборами сравнения, в которых в процессе каждого измерения происходит сравнение измеряемого сопротивления с мерой. В качестве меры используются эталонные резисторы, образующие плечи моста.

В мостах постоянного тока используется нулевой метод сравнения с мерой. Одна диагональ моста подключается к источнику питания, а другая диагональ – к индикатору рав-

новесия моста (нуль-индикатору), который обнаруживает равенство потенциалов в этой диагонали.

Главное достоинство мостов постоянного тока для измерения сопротивлений – высокая точность (в ряде приборов погрешность достигает не более 0,001 %). Это объясняется применением метода сравнения в процессе измерения, точностью мер эталонных резисторов и высокой чувствительностью гальванометра. К недостаткам мостов постоянного тока следует отнести: сложность конструкции, высокую стоимость, большое время измерения [3].

Современные методы измерения

В настоящее время все чаще возникает необходимость отходить от традиционных методов измерения электрофизических параметров, потому что в ряде случаев, невозможно изготовить хорошие контакты, т.к. в процессе их изготовления возможно образование дефектов, загрязнение металла в месте контакта. Кроме этого, существуют случаи, когда нужно производить неразрушающий контроль изделия больших размеров, и чувствительности приборов измеряющих напряжение не хватает, либо просто нет возможности сделать контакты (непрерывный прокат). В этих и многих других случаях бесконтактные методы измерения сопротивления (удельной электропроводности) становятся незаменимыми.

Бесконтактное измерение удельной проводимости очень часто встречается в структурографии. Теоретической основой вихревой структурографии [4, 5] является наличие корреляционных связей между электрическими характеристиками металлов и сплавов и их химическим составом или структурным состоянием. Поэтому, на основании измерений удельной электрической проводимости возможно контролировать структуру однородность химического состава, механические свойства материала и т. п. [6].

Для измерения удельной электрической проводимости обычно применяется метод вихревых токов. Достоинством метода является нечувствительность к загрязнению поверхности объекта контроля непроводящими веществами, давлению, влажности и загрязненности газовой среды. Простота конструк-

ции преобразователя и возможность проведения бесконтактного контроля – еще одно преимущество вихревого метода [7].

Среди существующих приборов для измерения удельной электрической проводимости наибольшее распространение получили ВЭ-17, предназначенные для контроля алюминиевых сплавов, и ВЭ-26Н – для контроля алюминиевых и медных сплавов [8]. Оба прибора малогабаритные, имеют автономное питание, снабжены миниатюрным накладным измерительным преобразователем. Наличие встроенного калибратора у прибора ВЭ-26Н не требует стандартных образцов удельной электрической проводимости для подготовки его к работе.

Более современная версия представленных выше вихревых структуроскопов – это прибор sigmascope® smp10 компании хельмут фишер (рис.1). Прибор sigmascope® smp10 измеряет электропроводность по методу вихревых токов в соответствии со стандартами din en 2004-1 и astm e 1004. Высокая фазовая чувствительность прибора по отношению к измеряемому сигналу позволяют определять электропроводность металла без непосредственного контакта с ним, например, под слоем краски или синтетического покрытия толщиной до 500 мкм. При этом методе минимизировано влияние шероховатости поверхности на результаты измерений [9].



Рис. 1. Вихревой структуросткоп SIGMASCOPE® SMP10 компании ХЕЛЬМУТ ФИШЕР

Резюмируя проведенное рассмотрение методов бесконтактного измерения удельной электропроводности, можно прийти к заключению о существенной ограниченности их возможностей.

Так, во-первых, исключаются измерения для металлов с толщиной, меньшей величины эффективной глубины проникновения поля, во-вторых, предложения не работают для металлов, обладающих магнитными свойствами и т.д.

Указанные недостатки становятся особо значимыми и неприемлемыми при магнитно-импульсном деформировании тонкостенных металлов, поскольку не позволяют идентифицировать важнейшую характеристику обрабатываемого объекта – удельную электропроводность, определяющую не просто эффективность, а практические возможности технологий с использованием энергии электромагнитных полей.

В связи с этим в лаборатории электромагнитных технологий Харьковского национального автомобильно-дорожного университета были предложены и теоретически обоснованы бесконтактные системы измерения удельной электропроводности проводников, такие как:

- система с индукторами с «идеально» проводящими обмотками [10];
- система с индукторами с «абсолютно прозрачными» обмотками [11];
- системы с обмотками индукторов в виде тонкостенных экранов [12].

В указанных работах предложена и теоретически обоснована дееспособность метода измерения удельной электропроводности тонкостенных листовых металлов. В основу его положена идея взаимодействия «встречных» магнитных полей двух соленоидов, успешно применявшаяся в магнитно-импульсной обработке металлов для устранения негативных последствий диффузионных эффектов при силовом воздействии на обрабатываемые объекты.

Сущность предлагаемого метода заключается в создании условий, при выполнении которых суммарный магнитный поток от двух источников «встречных» полей в пространстве между листовыми проводниками обращается в нуль. Математическая формулировка этих условий, связывающая амплитудно-временные параметры полей в системе с электрофизическими характеристиками листовых металлов, представляет собой базовое соотношение, с помощью которого возможно определение неизвестной удельной электро-

проводности исследуемого металлического образца [13].

Отличительные особенности предлагаемого метода от известных аналогов:

- отсутствие непосредственных электрических контактов с металлом исследуемого образца,
- возможность измерения удельной электропроводности листовых металлов с толщиной, существенно меньшей эффективной глубины проникновения поля в соответствующую проводящую среду,
- возможность измерения удельной электропроводности как немагнитных, так и магнитных металлов (неферро- и ферромагнетики!).

Работа систем с использованием метода «встречных» полей возможна исключительно в низкочастотном режиме возбуждаемых полей, когда имеет место их интенсивное проникновение сквозь листовые металлы, один из которых является «контрольным образцом» с известными параметрами, а второй – образцом, электропроводность которого определяется.

В случае идеально проводящих обмоток индукторов удельная электропроводность немагнитных листовых металлов определяется отношением напряжённостей магнитного поля, возбуждаемого в рабочих зонах индукторов равными и одинаково направленными токами.

Метод «встречных» магнитных полей позволяет измерять удельную электропроводность не только немагнитных металлов, но и тонкостенных листовых ферромагнитных образцов, причём в случае «абсолютно прозрачных» обмоток индукторов рабочее соотношение для определения удельной электропроводности включает не напряжённости магнитных полей на внешних границах листовых металлов, а токи, возбуждающие систему.

Выводы

Проведен анализ существующих традиционных и современных методов измерения удельной электропроводности, определены их недостатки и пределы возможностей применения.

Выявлены преимущества способов бескон-

тактного измерения данного электрофизического параметра.

Раскрыты особенности и преимущества бесконтактного способа определения удельной электропроводности, основанного на взаимодействии «встречных» магнитных полей от двух источников поля – индукторов.

Литература

1. Туренко А. Н. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий / А. Н. Туренко, Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов // Том 3 Теория и эксперимент притяжения тонкостенных металлов импульсными магнитными полями: Монография – Харьков: ХНАДУ, 2009.
2. Малиновский В.Н. Электрические измерения / Под ред. Малиновского В.Н. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
3. <http://www.electrotechnika.info>.
4. Дорофеев А. Л. Индукционная структурокопия. – М.: Энергия, 1973. – 176 с.,
5. Наумов Н. М. Резистометрический неразрушающий контроль деформируемых алюминиевых сплавов / Н. М. Наумов, П. Г. Микляев– М.: Металлургия, 1974. – 199 с.
6. Бакунов А. С. Контроль механических свойств алюминиевых сплавов электромагнитным методом / А. С. Бакунов, В. Ф. Мужикский, Б. Е. Попов – Дефектоскопия, 1995, №2, с. 61-67.
7. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник. Под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1995. – 488 с.
8. Бакунов А.С. Измеритель удельной электрической проводимости ВЭ-26Н / А. С. Бакунов, В. А. Смолягин– Дефектоскопия, 1991, №3, с. 81.
9. http://www.helmut-fischer.com/globalfiles/RU_SMP10_RU_0901.PDF
10. Батыгин Ю. В., Бесконтактный способ измерения удельной электропроводности листовых металлов / Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов, М. В. Барбашова, Т. В. Гаврилова, А. А. Степанов, Електротехніка і Електромеханіка. 2012. № 1 – с.69-72.
11. Барбашова М. В., Способ определения электрофизических параметров металлов, применяемых в автомобилестроении, Автомобильный транспорт, ХНАДУ, 2012., № 31 – с. 153-158.
12. Ю.В. Батыгин, Анализ электромагнитных процессов в системе для измерения удельной электропроводности листовых металлов с «тонкостенными» обмотками / Батыгин Ю. В., Чаплыгин Е. А., Барбашова М. В., Вісник НТУ «ХП», 2013 № 1 – с. 110-121.
13. Пат. 96335 України, В21 Д 26/14. Спосіб вимірювання питомої електропровідності листових металів / Батыгин Ю. В., Гнатов А. В., Смірнов Д. О.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун-т. – № а 200913091 заявл. 16.12.2009; опубл. 25.11.2011, Бюл. № 20.