

Результаты выводятся на экран компьютера в виде 12-звенной электротепловой RC-модели (Кауера и Фостера), где R – тепловое сопротивление, C – теплоемкость.

Метод и аппаратура применимы при разработке и освоении новых изделий, на стадии совершенствования технологических процессов монтажа кристаллов полупроводниковых приборов и повышения их надежности при термоиспытаниях для анализа структуры теплового сопротивления многослойных полупроводниковых приборов, исследования изменения тепловых параметров МОП транзисторов при термоиспытаниях, анализа качества слоя посадки кристаллов мощных силовых приборов. Данный метод обладает рядом преимуществ перед другими ме-

тодами измерения тепловых характеристик приборов:

- является экспрессным и неразрушающим;
- позволяет определить внутреннее и внешнее тепловое сопротивление приборов, а также их структуру, зависящую путей прохождения теплового потока по элементам как самого устройства, так и внешнего теплоотвода и представить в виде спектра, подобно оптическому;
- позволяет оценить сечение теплового потока в разных областях устройства и внешнего теплоотвода;
- использование больших импульсных токов (в режимах близких к предельно допустимым) позволяет обнаружить области шнурования тока и выявить потенциально ненадежные приборы.

УДК 620.179.14

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА НА ПОЛЕВЫЕ МАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРЯЧЕКАТАННОЙ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТОЙ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ

Бурак В.А.¹, Короткевич З.М.¹, Коровицкий В.А.²

¹ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Исследовано изменение таких полевых магнитных величин как коэрцитивная сила, напряженность магнитного поля, соответствующая максимальному значению магнитной проницаемости, и величины напряженностей поля, при которых петля магнитного гистерезиса имеет наибольшую ширину, с ростом содержания углерода в горячекатаных среднеуглеродистых конструкционных сталях. Установлено, что коэрцитивная сила и напряженность магнитного поля, соответствующая максимальному значению магнитной проницаемости, могут применяться для выявления изделий, отличающихся по материалу изготовления, при условии, что контролируемые изделия не были подвергнуты термической обработке, значительно изменяющей структурное состояние.

Ключевые слова: магнитный неразрушающий контроль, импульсное намагничивание, коэрцитивная сила, конструкционная сталь.

INFLUENCE OF CARBON QUANTITY ON MAGNETIC FIELD STRENGTH CHARACTERISTICS OF HOT-ROLLED MEDIUM CARBON CONSTRUCTION STEEL

Burak V.¹, Korotkevich Z.¹, Korovitskiy V.²

¹Institute of Applied Physics of the NAS of Belarus

²Belorussian National Technical University
Minsk, Belarus

Abstract. The changes in the coercive force, the magnetic field strength corresponding to the magnetic permeability maximum value and the field strengths of the magnetic hysteresis loop largest width with increasing the carbon content in hot-rolled medium-carbon structural steels were investigated. It is defined that the coercive force and the magnetic field strength corresponding to the magnetic permeability maximum value can be used to identify articles that have different material of manufacture if the testing articles were not under heat treatment which leads to significant changes in the structural state.

Key words: magnetic non-destructive testing, pulse magnetization, coercive force, construction steel.

Адрес для переписки: Короткевич З.М., ул. Академическая, 16, г Минск 220072, Республика Беларусь
e-mail: kzm@iapf.bas-net.by

Изучение влияния содержания углерода и легирующих элементов на механические и магнитные характеристики различных марок сталей расширяет возможности магнитного контроля для решения задач по определению их химического состава и соответствующей марки.

Конструкционные среднеуглеродистые стали являются одними из наиболее популярных материалов для изготовления деталей различного назначения. Так как для этих марок сталей характерно содержание легирующих элементов в количествах, не оказывающих значительного

влияния на формирование кристаллической решетки, то различие в структурном состоянии и механических характеристиках определяется в основном содержанием углерода.

Намагничивание образцов и измерение магнитных характеристик осуществлялось в разомкнутой магнитной цепи проходного преобразователя измерителя магнитной индукции импульсного ИМИ-И [1]. Намагничивание и перемагничивание заранее размагниченных образцов осуществлялось несимметричными импульсами разной полярности, амплитуды которых составляли 15 и 4 кА/м. Исследуемые образцы были изготовлены из листовой горячекатаной стали марок 35, 40, 45 и 50 и имели форму пластин размерами 200x20x3 мм³. Для дальнейшего анализа принималось, что содержание углерода в них соответствует номинальному по ГОСТ–1080. Образцы были подвергнуты отжигу при разных температурах, для дальнейшего представления результатов были взяты образцы без отжига, отожженные при 530 °С (средний отжиг) и 800 °С (высокий отжиг), что обеспечивает различные структурные состояния для рассматриваемых марок сталей.

Как известно, одним из самых востребованных информативных параметров для магнитного неразрушающего контроля является коэрцитивная сила H_c , которая широко исследовалась для разных марок сталей. Рассмотрим эту магнитную величину и ряд полевых характеристик, взятых на петле магнитного гистерезиса, полученной при намагничивании стальных горячекатаных образцов в проходном датчике в разомкнутой магнитной цепи.

Коэрцитивная сила H_c для образцов горячекатаной среднеуглеродистой конструкторской стали, не подвергнутых отжигу, монотонно увеличивается с ростом содержания углерода (рис. 1), также себя ведет эта характеристика и для отожженных при 530 °С образцов. С дальнейшим увеличением температуры отжига меняется ход зависимости коэрцитивной силы H_c . Для образцов, отожженных при $T_{отж} = 800$ °С она практически не меняется для сталей 40 и 45, для стали 35 значение коэрцитивной силы ниже на 65 %, чем для стали 40 и 45, а для стали 50 ниже на 45 % чем для сталей с меньшим содержанием углерода.

Полевой характеристикой, которую можно определить по петле магнитного гистерезиса, является напряженность магнитного поля, соответствующая максимальному значению магнитной проницаемости $H_{ум}$, зависимость которой для рассматриваемых марок сталей от содержания углерода представлена на рис. 2.

Изменение значений этой характеристики с увеличением содержания углерода в исследуемых образцах подобно изменению коэрцитивной силы для всех рассматриваемых температур отжига.

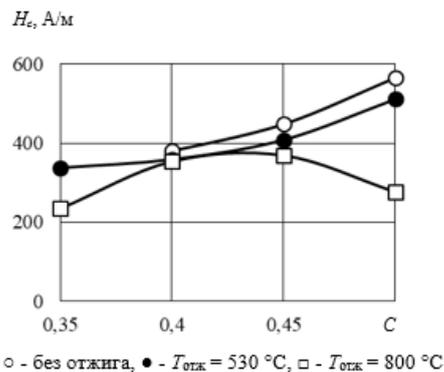


Рисунок 1 – Зависимость величины H_c от содержания углерода

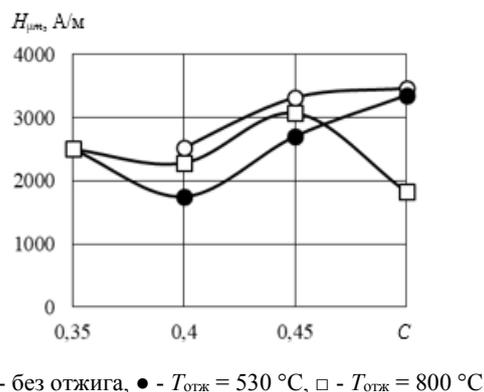


Рисунок 2 – Зависимость величины $H_{ум}$ от содержания углерода

Для значений напряженностей, взятых по возрастающей $H_{\delta m1}$ и ниспадающей $H_{\delta m2}$ ветвях при максимальной ширине петли магнитного гистерезиса, характерны одинаковые законы изменения с увеличением содержания углерода, не зависящие от режима термообработки (рис. 3).

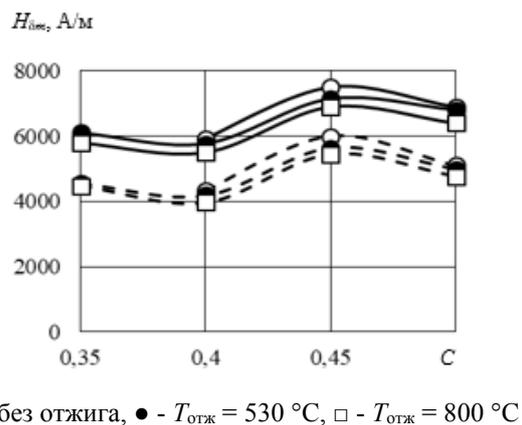


Рисунок 3 – Зависимость величин $H_{\delta m1}$ (сплошная) и $H_{\delta m2}$ (пунктирная) от содержания углерода

В ходе изучения изменения характеристик, взятых по петле магнитного гистерезиса, полученной при намагничивании в проходном датчике в разомкнутой цепи несимметричным импуль-

сним магнитным полем, было установлено, что разбравку сталей по маркам в зависимости от количества углерода можно надежно проводить по таким полевым характеристикам как коэрцитивная сила H_c и напряженность магнитного поля, соответствующая максимальному значению магнитной проницаемости $H_{\text{пр}}$, для образцов, термическая обработка которых не вызывает значительных изменений в структурном состоянии горячекатаной среднеуглеродистой стали, так как с увеличением температуры отжига эти характеристики неоднозначно зависят от содержания углерода. Для полевых магнитных харак-

теристик, связанных с максимальной шириной петли магнитного гистерезиса, температура термообработки не оказывает влияния на ход зависимостей от содержания углерода в материале образцов.

Литература

1. Короткевич, З. М. Многопараметровая модель для контроля качества закалки инструментальной углеродистой стали У8А с использованием прибора ИМИ-И / З. М. Короткевич, А. А. Осипов, В. А. Бурак // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2021. – № 2. – С. 38–45.

УДК 620.179.14/15

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО ШУМА ПРИ ИЗУЧЕНИИ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ СТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ

Бусько В.Н.

*ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Представлены схемы, конструкции и внешний вид предложенных и созданных устройств и механизмов для исследования усталостной прочности образцов порошковой стали 09Г2С, полученных с помощью аддитивной технологии – методом селективного лазерного спекания (сплавления). Показаны преимущества устройств для повышения эффективности измерений магнитного шума при исследовании, контроле и диагностике физических и механических свойств стальных образцов. Приведен пример измерения магнитного шума в образцах с помощью созданных устройств в комплекте с прибором и преобразователем Баркгаузена.

Ключевые слова: магнитный шум, механические испытания на изгиб, усталостная прочность, аддитивные технологии и материалы.

INCREASING THE EFFICIENCY OF MEASURING MAGNETIC NOISE IN STUDYING THE FATIGUE STRENGTH STEEL SAMPLES

Busko V.

*Institute of Applied Physics of the NAS of Belarus
Minsk, Belarus*

Abstract. The schemes, designs and appearance of the proposed and created devices and mechanisms for studying the fatigue strength of 09G2S powder steel samples obtained using the additive technology - the method of selective laser sintering (fusion) are presented. The advantages of devices for increasing the efficiency of measurements of magnetic noise in the study, control and diagnostics of the physical and mechanical properties of steel samples are shown. An example of measuring magnetic noise in samples using the created devices complete with a Barkhausen instrument and transducer is given.

Key words: magnetic noise, mechanical bending tests, fatigue strength, additive technologies and materials.

*Адрес для переписки: Бусько В.Н., ул. Академическая, 16, г. Минск, 220072, Республика Беларусь
e-mail: busko@iaph.bas-net.by*

Исследование циклической усталостной прочности (УП), или долговечности, материалов и изделий относится к приоритетным задачам. Появление новых материалов, получение которых основано на использовании аддитивных технологий (АТ), актуализировало необходимость и интенсивность изучения физико-механических свойств (ФМС), особенно прочностных, данного класса материалов. В настоящее время во многих отраслях наметился резкий рост (промышленность, авиация и космонавтика, медицина и автомобилестроение) применения изделий, полученных с помощью АТ [1–3].

В ближайшем будущем полученные с помощью АТ изделия будут конкурировать с полученными традиционными способами.

Прочность и жесткость конструкций, в основном, определяются возможностью сопротивления металла деформации, обусловленной циклической усталостью. Поэтому целью работы являлось создание устройств, позволяющих повысить достоверность и повторяемость измерений интенсивности магнитного шума (МШ) при изучении УП образцов стали 09Г2С, полученных с помощью селективного лазерного спекания.