

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
"ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ СТАЛИ И СПЛАВЫ

Донецк – 2018 р.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
"ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"

КАФЕДРА «ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ СТАЛИ И СПЛАВЫ

Для студентов направления 22.04.01 «Материаловедение и технологии
материалов»

Рассмотрено:

На заседании кафедры физического материаловедения
протокол № 1 от 31.08.2018 г.

Зав.кафедрой _____ Н.Т.Егоров

Утверждено:

На заседании учебно-методической комиссии по
направлению 22.03.01 «Материаловедение и технологии
материалов».

Председатель комиссии

_____ В.П. Горбатенко

Донецк – 2018 р.

УДК 608.1
ББК 34.2
М54

Рецензенты:

Штычно Алла Петровна – кандидат технических наук, доцент кафедры физического материаловедения ГОУВПО «ДОННТУ»;

Кузин Андрей Викторович - кандидат технических наук, доцент кафедры руднотермических процессов и малоотходных технологий ГОУВПО «ДОННТУ».

Составитель:

Крымов Виталий Николаевич - кандидат технических наук, доцент кафедры физического материаловедения ГОУВПО «ДОННТУ»

Ответственный за выпуск:

Егоров Николай Тимофеевич - кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой физического материаловедения ГОУВПО «ДОННТУ»

Методические указания к лабораторным работам по курсу “Электротехнические стали и сплавы” (для студентов направления подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов») [Электронный ресурс] / Сост.: Крымов В.Н., – Электрон. дан. (1 файл: 0,7 Мб). - Донецк : ДОННТУ, 2018. - Системные требования: Acrobat Reader.

В методических указаниях приведены теоретические сведения, описана методика выполнения практических работ, составлен перечень контрольных вопросов

Оглавление

1. ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСЕЙ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ МЕТАЛЛОВ	5
2. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ МЕТАЛЛОВ	7
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЫ СТАЛЕЙ	10
ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	15

1. ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСЕЙ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ МЕТАЛЛОВ

Цель работы - изучение электрических свойств твердых растворов и экспериментальное определение зависимости электросопротивления твердого раствора от его состава.

Электросопротивление твердых растворов

При образовании твердых растворов электросопротивление сплава всегда повышается. Рост электросопротивления вызвано искажениями кристаллической решетки и усилением химической связи, вследствие чего возрастает рассеяние электронных волн и уменьшается плотность носителей электрического тока.

Изменение электросопротивления, в зависимости от концентрации твердого раствора, может иметь различный характер. При малых концентрациях справедливо правило Матиссена-Флеминга, согласно которому электросопротивление твердого раствора имеет следующие составляющие

$$\rho = \rho_t + \rho_c$$

где ρ_t - удельное электросопротивление чистого металла, который зависит от температуры; ρ_c - дополнительное электросопротивление за счет легирования, не зависит от температуры (при относительно небольших концентрациях примеси его можно определить по формуле $\rho_c = \epsilon \cdot c$, где c - атомная концентрация примеси или легирующего элемента; ϵ - дополнительное сопротивление на 1 ат.% примеси).

Несколько примеров изменения удельного электросопротивления твердых растворов приведены на рисунке 1.

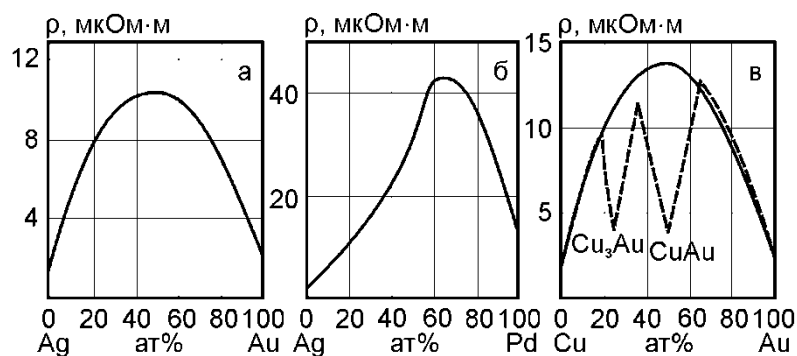


Рисунок 1. Изменение электросопротивления твердых растворов
а - однородный твердый раствор б - однородный твердый раствор с благородным металлом; в - твердый раствор, упорядочивается

Особенно резко возрастает электросопротивление, если один металл переходный (Pd рис.1б). Значительное увеличение электроопору в таких

сплавах обусловлено тем, что уменьшается плотность носителей электрического тока - часть электронов проводимости идет на заполнение внутренних недостроенных оболочек переходного металла. Такой характер поведения используется при создании сплавов высокого удельного сопротивления.

При составлении твердого раствора электрическое сопротивление резко уменьшается (см. Рис.1в). При образовании сверхструктур усиливается химическая связь. Это должно привести к повышению электросопротивления, однако тот фактор, что симметричность решетки повышается и электрический потенциал решетки становится менее искаженным, превалирует. Значительное уменьшение рассеяния электронных волн приводит к снижению электросопротивления.

В работе используются проволоочные образцы сплавов системы Cu-Zn с разным содержанием цинка, но не превышающий пределы растворимости при комнатной температуре. На рис.2 приведена фазовая диаграмма этой системы.

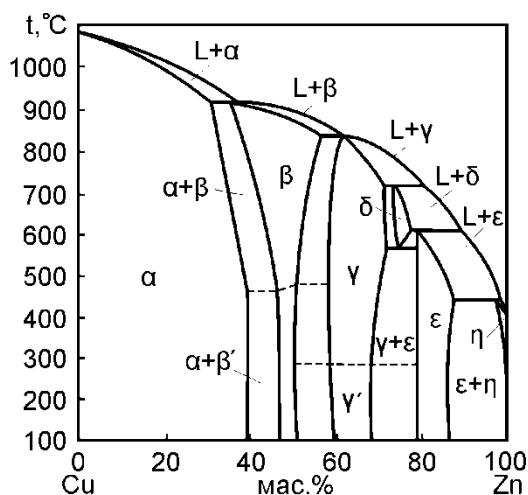


Рисунок 2 - Диаграмма состояний системы Cu-Zn

Методика определения удельного электросопротивления сплавов системы Cu-Zn такая же, как и в предыдущей работе.

Экспериментальная часть

1. С помощью штангенциркуля в разных местах образца тщательно измерить его диаметр или ширину и толщину и средние значений занести в таблицу.
2. Установить образец в зажимы моста Томсона. При этом следует обеспечить достаточное натяжение образца, чтобы избежать его провисания. С помощью штангенциркуля измерить длину образца между зажимами. Результаты измерения занести в таблицу,
3. С помощью регулятора моста установить показания нуль-гальванометра (цифрового вольтметра) на ноль. Провести считывания показателей регуляторов моста с учетом соответствующих множителей. Результат измерения занести в таблицу.

4. Изменив расстояние между зажимами повторить еще дважды измерения длины образца и соответствующего значения сопротивления. Результаты также занести в таблицу.
5. по формуле $\rho = \frac{R \cdot S}{l}$ вычислить удельное сопротивление металла. По трем измерениям найти среднее значение $\langle \rho \rangle$ и доверительный интервал $\Delta \rho$. Результаты занести в таблицу.

$$\Delta \rho = 4,3 \sqrt{\frac{(\langle \rho \rangle - \rho_1)^2 + (\langle \rho \rangle - \rho_2)^2 + (\langle \rho \rangle - \rho_3)^2}{3(3-1)}}$$

№ П/ П	соста в сплав а	D, м	S, м ²	l, м	R, ом	ρ , Ом · м	$\Delta \rho$, Ом · м

6. На основании полученных результатов построить график зависимости удельного электросопротивления сплава от концентрации твердого раствора.

Контрольные вопросы

1. Чем вызван рост электросопротивления в твердых растворах?
2. По какому закону изменяется электросопротивление в твердых растворах в зависимости от концентрации примеси?
3. В чем заключается правило Матиссена-Флеминга?
4. Приведите примеры применения сплавов - твердых растворов в электротехнике.

2. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ МЕТАЛЛОВ

Цель работы - определение температурной зависимости удельного электросопротивления металлов и температурного коэффициента электросопротивления (ТКС).

Изменение электросопротивления при нагревании металлов

При теоретическом определении температурной зависимости электропроводности принимается, что электроны проводимости полностью свободны. Если предположить, что тепловые колебания отдельных атомов независимы, то электрическая проводимость должна падать прямо пропорционально температуре, так как

величина $1 / \lambda$ (где λ - длина свободного пробега электронов) пропорциональна среднему квадрату амплитуды колебаний атомов $\langle X^2 \rangle$ которая линейно возрастает с температурой. Это предположение о независимости атомных колебаний справедливо для высоких температур, значительно выше характеристической θ_D . Поэтому при высоких температурах электросопротивление чистых металлов растет прямо пропорционально температуре:

$$\rho_t = \rho_0(1 + \alpha t) \quad (1)$$

где $(\rho_t - \rho_0)$ - изменение ρ в интервале температур t ; α - температурный коэффициент электросопротивления. Для всех чистых металлов, за исключением переходных, α равна примерно $4 \cdot 10^{-3}$ град $^{-1}$. Переходные металлы и, особенно, ферромагнетики имеют более высокое значение α (примерно 10^{-2} град $^{-1}$).

Учет взаимодействия между колебаниями атомов и электронов проводимости для случая низких температур (ниже характеристической) приводит к тому, что электросопротивление чистых металлов меняется как T^5 . Такая зависимость наблюдается в большинстве одно-, двух-, трех- и четырехвалентного металлов. В большинстве переходных металлов (включая актиниды и лантаниды) при температурах ниже характеристической поведение электросопротивления описывается зависимостью T^n , где n изменяется от 2,0 до 5,3.

Средний α (в интервале температур) и действительный αt (при температуре t) температурные коэффициенты электросопротивления определяются по формулам

$$\alpha = \frac{\rho_t - \rho_0}{\rho_0 t} \quad (2)$$

$$\alpha_t = \frac{1}{\rho_t} \cdot \frac{d\rho}{dt} \quad (3)$$

где ρ_t и ρ_0 удельные электросопротивления при температурах t и 0°C , соответственно. Отклонение температурной зависимости удельного электросопротивления от линейной наблюдается в ферромагнитных металлов при подходе к точке Кюри. В районе точки Кюри удельное электросопротивление резко возрастает, а затем его зависимость от температуры снова принимает линейный характер.

Экспериментальная часть выполняется на установке, схема которой приведена на рис.1. Проволочный образец из меди или любого другого металла наматывается на кварцевую трубку в виде катушки. Эта катушка помещается в трубчатую печь. Температура образца фиксируется с помощью T_x а (термопара хромель-алюмелевая), холодный спай которой находится в сосуде со льдом, а горячий контактирует с образцом. Электросопротивление измеряется с помощью измерительного моста P4833.

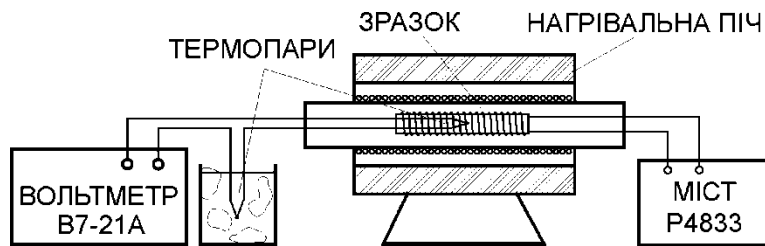


Рисунок 1 Схема установки для определения температурной зависимости электросопротивления металлов

Экспериментальная часть

1. Определить электросопротивление образца при комнатной температуре.
2. Включить медленный нагрев образца и в процессе подъема температуры через 25-50 ° С измерять электросопротивление. Результаты занести в таблицу и построить график зависимости $R = f(t)$.

№ п/ п	Термо ЭДС, мВ	Температура образца, ° С	Электросопротивление образца, ом

3. Температурный коэффициент электросопротивления определяется методом усреднения. Для этого используются значения электроопору R_1 для любой температуры t_1 , например, для 50 ° С и R_2 для любой другой температуры t_2 , например, 100 ° С. Значение ТКО вычисляют в таком случае по формуле

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 t_2 - R_2 t_1}$$

4. По трем измерениям найти среднее значение $\langle \alpha \rangle$ и доверительный интервал $\Delta \alpha$.

Контрольные вопросы

1. Чем обусловлен электросопротивление металлов?
2. Какая физическая величина характеризует электрические свойства металлов?
3. Охарактеризуйте влияние температуры нагрева на удельное электросопротивление металлов, полупроводников и диэлектриков.
4. Что средний и действительный температурные коэффициенты электроопору?

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЫ СТАЛЕЙ

Цель работы – научиться определять коэрцитивную силу; построить экспериментальные зависимости H_c от содержания углерода в стали, структурного состояния и степени деформации

Влияние химического состава и термической обработки на коэрцитивную силу сталей

Сопоставление свойств отожженной и закаленной стали приведено на рис. 1.

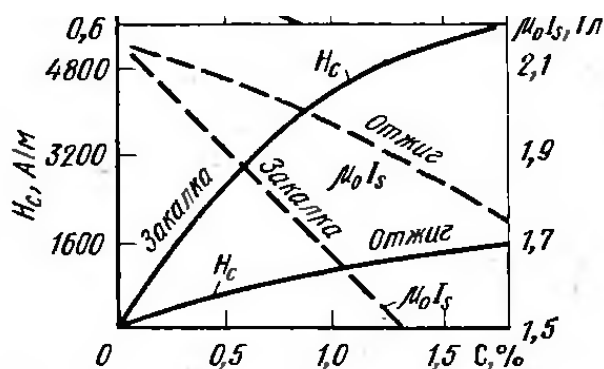


Рисунок 1 – Зависимость магнитных свойств сталей от содержания углерода и вида термической обработки.

Коэрцитивная сила зависит не только от количества цементита, но и от его формы. Например, в стали ШХ15 при наличии только зернистого цементита $H_c = 795,8$ А/м, при наличии зернистого цементита и карбидной сетки 993,7 А/м, а при структуре пластинчатого перлита 1512 А/м.

Из экспериментальных данных вытекает, что у отожженной стали ШХ15 со структурой зернистого цементита коэрцитивная сила возрастает прямо пропорционально числу зерен карбида в 1 мм^3 и линейно связанная с твердостью по Бринеллю НВ. Показано также, что H_c и НВ повышаются вследствие измельчения зерен ферритной фазы при одной и той же дисперсности карбидов.

Закалка очень сильно повышает коэрцитивную силу и снижает проницаемость μ_{max} . При этом кривые, которые характеризуют величину H_c отожженной и закаленной стали, расходятся по мере увеличения концентрации углерода. Влияние закалки на магнитные свойства тем больше, чем выше содержимое углерода. Уменьшение величины $\mu_0 I_s$ в данном случае указывает на то, что в результате закалки появляется парамагнитный аустенит. Его содержание возрастает с ростом концентрации углерода. Если бы удалось получить 100% мартенсит, то намагниченность насыщения после закалки была бы больше, а не меньше, чем после отпуска, потому что все железо находилось бы в α - фазе.

Повышение коэрцитивной силы в результате закалки стали обусловлены образованием мартенсита. Это объясняется ростом напряжений. Некоторое дополнительное увеличение H_c происходит в том случае, если с мартенситом в стали присутствует остаточный аустенит, причем максимум увеличения коэрцитивной силы отвечает определенному количеству аустенита. В стали ШХ15 с содержанием 1,05% С и 1,6% Cr максимум H_c наблюдается при 11% аустенита.

Наличие в сталях легирующих элементов также приводит к увеличению (Cr, Si, Ni, Cu) или уменьшению (Mn) коэрцитивной силы.

Влияние отпуска на магнитные свойства противоположно влиянию закалки. Коэрцитивная сила падает, а остаточная индукция возрастает. Увеличиваются также проницаемость и намагниченность насыщения. Последняя резко возрастает при отпуске на 210—250°C в связи с превращением остаточного аустенита в мартенсит. При более высоких температурах отпуска она несколько уменьшается вследствие образования Fe_3C .

Взаимосвязь магнитных и механических свойств со структурным состоянием сталей и сплавов

Экспериментально была найдена взаимосвязь и корреляционные зависимости между магнитными, электромагнитными и механическими свойствами сталей и сплавов и их структурным состоянием и фазовым составом.

Из всех магнитных свойств к структурно-чувствительным характеристикам относятся кривая намагничивания, форма и площадь петли магнитного гистерезиса (рис. 2). Имеется в виду частный установившийся цикл, для чего производят многократное коммутирование магнитного поля от $+H_{max}$ до $-H_{max}$ и их основные параметры: коэрцитивная сила H_c ; остаточная индукция B_r , (Т) или остаточная намагниченность M_r (Т), магнитная проницаемость (восприимчивость) вещества M_r , и магнитная проницаемость кривой намагничивания (M_n , M_{max}).

Структурно-чувствительные магнитные характеристики анизотропны; они чувствительны к кристаллографической структуре, изменениям микро и макронапряжений, к микроструктуре, форме и размерам.

Величина коэрцитивной силы H_c зависит от объема и размеров (дисперсности) включений. Например: магнитные и электрические свойства микроструктуры сталей зависят от содержания углерода и легирующих элементов.

Анализируя влияние различных структурных параметров на торможение скользящих дислокаций и задержку смещения доменных границ, можно отметить общность их влияния на механические и магнитные свойства.

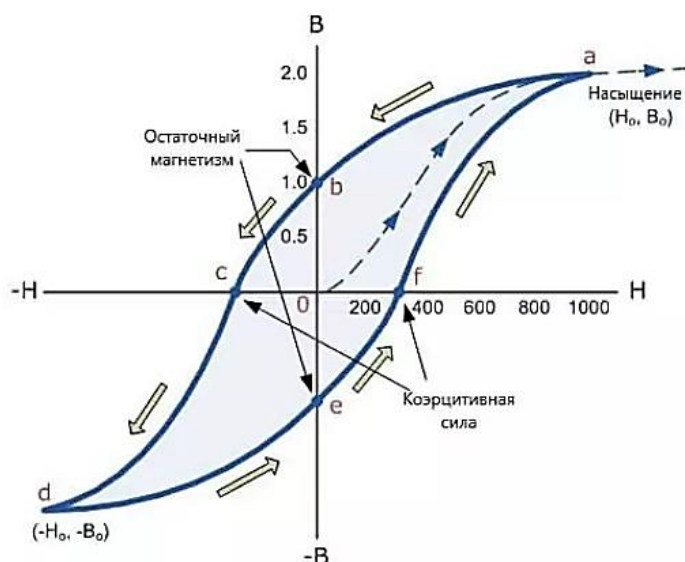


Рисунок 2 – Схематическое изображение петли магнитного гистерезиса

Так, повышение в структуре стали плотности дислокаций (N) сопровождается увеличением прочностных характеристик и значений коэрцитивной силы.

Повышение микронапряжений в стали приводит к росту $\sigma_{0,2}$ и H_c .

Увеличение объема перлитной составляющей в структуре стали сопровождаются повышением H_c и $\sigma_{0,2}$.

Увеличение размера зерна (d) сопровождается снижением как $\sigma_{0,2}$ так и H_c ; правда, $H_c \sim 1/d$.

Таким образом, определение магнитных свойств может применяться для контроля фазового состава сталей и при наличии устойчивых соотношений между контролируемыми показателями качества металлоконструкции и магнитными характеристиками стали.

Корреляционная связь между магнитными характеристиками и механическими свойствами – показателями качества ($\sigma_{0,2}$; σ_B ; твердость; величина зерна; показатели деформационного упрочнения и неравномерной пластической деформации и т.п.) определяется на основании информационного массива для каждой марки стали или групп марок сталей, отличающихся в основном содержанием углерода и «магнито-жесткими» или «магнито-мягкими» легирующими элементами.

При наличии корреляционных зависимостей между H_c и напряжениями можно вести контроль накопления повреждений в металле, упруго-пластической деформации металла, а также прогнозировать усталостную долговечность металла.

Практически все конструкционные сталей относятся к классу разупрочняемых, у которых величина H_c в состоянии поставки сравнительно невысока: от 1,5 до 10 А/см. Для таких сталей, как правило, существует устойчивая корреляция магнитных и физико-механических свойств с коэффициентом корреляции не хуже, чем 0,9. Поэтому магнитный метод может

обеспечить оперативный контроль структурного состояния несущих элементов металлоконструкций кранов.

Номограммы нагружения для сталей 09Г2С, 20ХН3А, Ст3 приведены на рисунке 3.

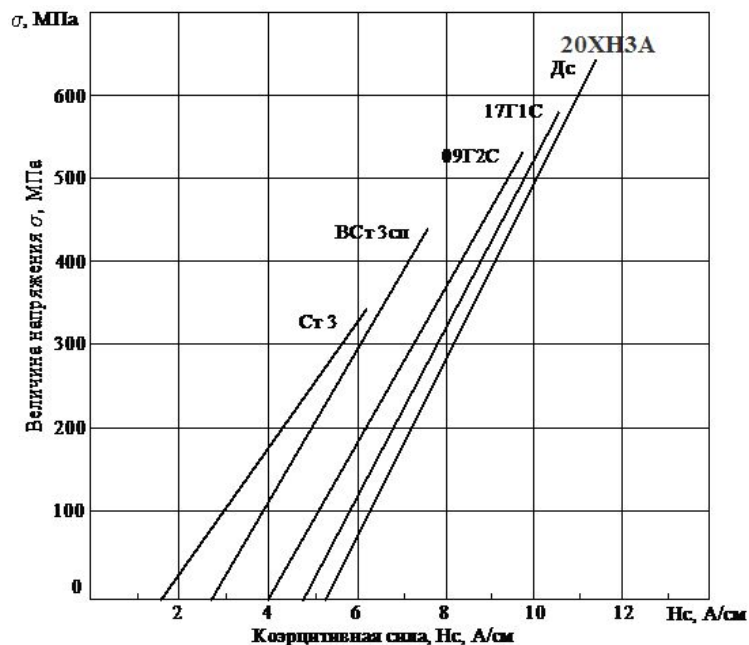


Рисунок 3 – Номограммы для определения величины напряжения по значениям коэрцитивной силы в конструкциях из сталей Ст 3, 09Г2С, 20ХН3А

Экспериментальная часть

1. Включить коэрцитиметр ИКОС – 1 и установить переключателем требуемый диапазон измерений.
2. Используя выданный преподавателем набор образцов, определить коэрцитивную силу.
3. Построить экспериментальные зависимости $H_c = f(\%C)$; $H_c = f(E)$ где E – степень деформации и пр.
4. С применением программ (например, Statistics), построить корреляционные зависимости H_c от изученных факторов и параметров.
5. Сделать вывод о влиянии различных факторов и обработок на коэрцитивную силу и возможность использования ее измерения для оценки свойств и фазового состава сталей.

Контрольные вопросы

1. Почему при увеличении содержания углерода в отожженной стали снижается намагниченность насыщения, остаточная индукция и магнитная проницаемость?
2. Почему при увеличении содержания углерода в отожженной стали повышается коэрцитивная сила?
3. Как влияет закалка стали на коэрцитивную силу, намагниченность насыщения, остаточную индукцию и магнитную проницаемость?

4. Влияние остаточного аустенита на магнитные свойства закаленной стали?
5. Как влияет отпуск на магнитные свойства стали?
6. Намагниченность насыщения является структурно чувствительным параметром. Почему в таком случае намагниченность насыщения зависит в стали от режима термообработки?
7. Как будет влиять скорость охлаждения стали при закалке на магнитные характеристики?

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимофеев, И.А. Электротехнические материалы и изделия: уч. пособие [Электронный ресурс] / И.А. Тимофеев. – СПб: Изд-во «Лань», 2012. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. <http://ed.donntu.org/books/cd5165.pdf>

2. Винников А.В. Электротехнические материалы и изделия: учеб. пособие [Электронный ресурс] /А. В. Винников, Н. А. Гранкина, А. Г. Кудряков, О. С. Турчанин. - 2-е изд., неправ, и доп./ - Краснодар: КубГАУ, 2017. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. <http://ed.donntu.org/books/19/cd9324.pdf>

3. Материаловедение. Технология композиционных материалов [Электронный ресурс]: учебник для вузов / А. Г. Кобелев [и др.] ; А.Г. Кобелев, М.А. Шаронов, О.А. Кобелев, В.П. Шаронова. - 17 Мб. - М. : КНОРУС, 2015. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. <http://ed.donntu.org/books/cd3818.pdf>