



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физическое и прикладное материаловедение»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

«Механические и физические свойства материалов»

Автор
Домбровский Ю.М.

Ростов-на-Дону, 2014



Аннотация

Для бакалавров направления подготовки
150100 "Материаловедение и технологии материалов"

Автор

д.т.н., профессор Домбровский Ю.М.





Оглавление

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1. Исследование структуры ферромагнитных материалов магнитным методом.....	4
Порядок выполнения работы.....	10
Содержание отчёта:	10
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2. Определение плотности стали методом гидростатического взвешивания.....	11
Влияние различных режимов термической обработки на удельный объём стали	12
Порядок выполнения работы.....	15
Требования к отчету.....	16
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3. Определение пара- и диамагнитной восприимчивости металлов и сплавов	17
Определение магнитной восприимчивости пара- и диамагнитных материалов	19
Порядок выполнения работы.....	21
Требования к отчету.....	23
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4. Определение температур фазовых превращений методом термодифференциального анализа	24
Методика выполнения работы	27
Порядок выполнения работы.....	28
Требования к отчету.....	29
Меры безопасности при проведении работы	30
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5. Изучение температурной зависимости электрического сопротивления нихрома.....	31
Методы измерения электросопротивления	32
Задание	36
Порядок выполнения работы.....	37
Содержание отчёта.....	39



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ МАГНИТНЫМ МЕТОДОМ

Цель работы: изучить связь структуры стали, формирующейся в результате различных видов термической обработки, с её магнитными свойствами, путем сравнения кривых намагничивания.

Процесс намагничивания ферромагнитных материалов в переменных полях

Из металлов с особыми физическими свойствами широкое применение получили ферромагнетики Fe, Co, Ni, РЗМ и их сплавы.

Ферромагнетики по сравнению с парамагнетиками имеют большую магнитную восприимчивость и могут быть намагничены до насыщения в сравнительно малых полях.

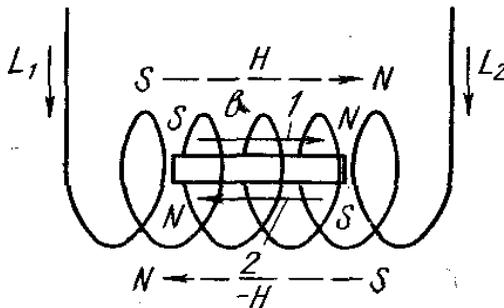


Рис.1 Цилиндрический образец в соленоиде

Рассмотрим поведение ферромагнитного, например, железного цилиндрического образца в магнитном поле. На рис. 1 этот образец помещен в соленоид, по которому течет электрический ток, создавая внутри катушки магнитное поле. При пропускании тока в направлении L_1 в соленоиде справа образуется северный полюс N, а слева — южный S (пунктирная стрелка вверх); при этом образец намагничивается в направлении магнитного поля соленоида H , что показано на рис. 1 сплошной стрелкой (стрелка 1).

При увеличении силы тока возрастает магнитное поле H , а вместе с ним индукция B : сначала круто на участке кривой Oa (рис. 2), затем полого на участ-



его в обратном направлении (L_2 на рис. 1), то полюсы соленоида переменяют свои места: слева станет N, а справа S. Поле H будет направлено навстречу индукции образца (пунктирная стрелка снизу). Если теперь увеличивать это поле обратного знака (увеличением тока L_2), то оно будет размагничивать образец. На рис. 2 этот процесс соответствует участку cd на кривой размагничивания. При определенной величине тока L_2 мы получим поле Od, при котором индукция образца падает до нуля — он будет размагничен. Это поле, обозначаемое H_s , называется *коэрцитивной силой*.

Кривая efgb_s симметрична и подобна кривой bcde; Od = Og и Of = Oc. При изменении поля от $+H_s$ до $-H_s$ и снова до $+H_s$ индукция изменяется по замкнутой кривой b_scdefgb_s, которая называется *петлей гистерезиса*.

Площадь, ограниченная петлей гистерезиса, пропорциональна работе Q (Дж/м³), затрачиваемой на перемагничивание 1 м³ металла за один цикл. Эту работу называют величиной *потерь на гистерезис*.

При перемагничивании железа стараются уменьшить потери на гистерезис и получить наименьшую площадь петли гистерезиса.

Форма кривой намагничивания и петли гистерезиса зависит как от свойств материала, так и от размеров образца.

Ферромагнетизм в любом ферромагнетике ослабевает с повышением температуры (степень спинового или спин-орбитального упорядочения уменьшается) и исчезает при некоторой температуре θ_c , называемой *точкой Кюри*.

Связь структуры сталей с их магнитными характеристиками

Существование закономерной связи между структурой ферромагнитных материалов и их магнитными характеристиками позволило применить магнитный анализ для оценки фазового состава сталей и изучения структурно-фазовых превращений, протекающих в них, при термической обработке.

На рис.3 приведено сопоставление магнитных свойств отожженных и закаленных сталей с различной концентрацией углерода.

Падение намагниченности насыщения при увеличении концентрации углерода в отожженной стали объясняется тем, что появляется новая слабоферромагнитная фаза, Fe₃C (цементит).

Коэрцитивная сила зависит не только от количества цемента, но и от его формы.

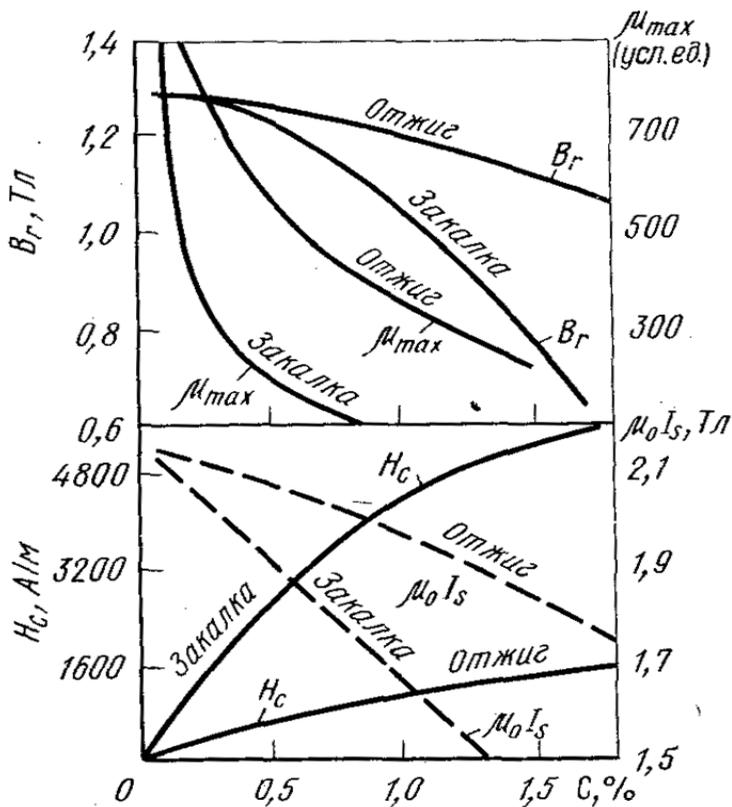


Рис.3 Сопоставление магнитных свойств отожженной и закаленной стали

Из экспериментальных данных следует, что в отожженной стали со структурой зернистого цемента коэрцитивная сила возрастает прямо пропорционально числу зерен карбида в 1 мм^3 . Показано также, что H_s и H_B повышаются вследствие измельчения зерен ферритной фазы при одной и той же дисперсности карбидов.

Закалка сильно повышает коэрцитивную силу и понижает магнитную проницаемость μ_{max} . При этом кривые, характеризующие величину H_s отожженной и закаленной стали, расходятся по



мере увеличения концентрации углерода. Влияние закалки на магнитные свойства тем сильнее, чем выше содержание углерода в стали. Уменьшение величины намагниченности насыщения J_s в данном случае указывает на то, что в результате закалки появляется парамагнитный аустенит и в количестве тем большем, чем выше содержание углерода в стали. Если бы удалось получить 100% мартенсита, то намагниченность насыщения после закалки была бы больше, чем после отжига, так как все железо находилось бы в α -фазе (мартенсите).

Повышение коэрцитивной силы в результате закалки стали обусловлено в основном образованием мартенсита. Некоторое дополнительное увеличение H_s получается в том случае, если наряду с мартенситом в стали присутствует остаточный аустенит, причем максимум увеличения коэрцитивной силы соответствует определенному количеству аустенита.

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

Установка для регистрации петли гистерезиса ферромагнитных материалов

Соленоид S (рис. 4) состоит из трёх обмоток, две из которых A и B соединены последовательно навстречу друг другу. При возбуждении соленоида S переменным током на обмотке C возникает напряжение, пропорциональное производной по времени напряженности магнитного поля внутри соленоида. В отсутствие ферромагнитного материала в соленоиде напряжение, снимаемое с двух последовательно включенных и одинаковых обмоток A и B , равно нулю. При наличии в обмотке A или B ферромагнитного материала P в них возникает напряжение, пропорциональное производной по времени интенсивности магнитного поля J , создаваемого в образце. Оба из полученных напряжений (с обмоток A , B и обмотки C) подаются сначала на интегрирующую цепь, а затем после усиления – к отклоняющим пластинам электронно-лучевой трубки осциллографа, в результате чего на экране осциллографа становится видимым полный цикл намагничивания образца.

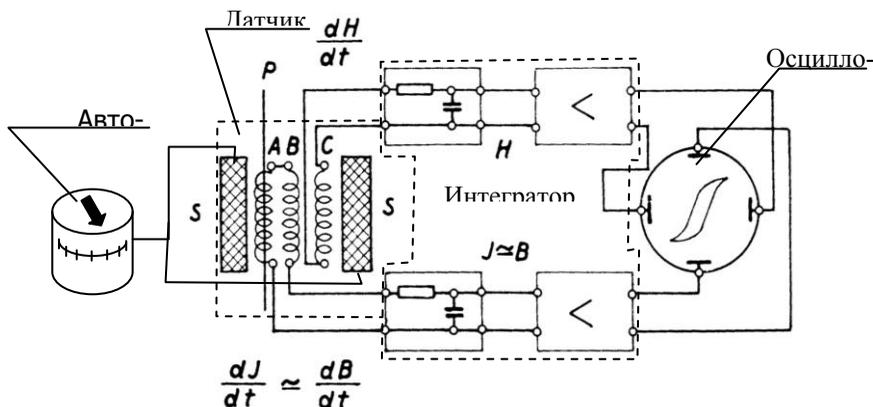


Рис.4 Структурно-функциональная схема регистратора петли гистерезиса

На изложенном принципе работает установка для регистрации петли гистерезиса, которая состоит из датчика-соленоида, двухканального интегратора с усилителями, осциллографа и автотрансформатора.

Для измерения магнитной индукции B испытуемого материала служит усилитель I , а для измерения напряженности магнитного поля H служит усилитель II . На входе двух усилителей имеются интегрирующие цепи, предназначенные для получения напряжения, пропорционального H и B , снимаемого с измерительных обмоток A, B и C . Постоянная времени интегрирующих элементов и чувствительность усилителей подобраны из условия получения качественного изображения на экране осциллографа петли гистерезиса стальных образцов выбранных размеров.

Следует отметить, что ферромагнитные материалы заметно изменяют свои ферромагнитные свойства под действием упругих и пластических деформаций. Поэтому при магнитных измерениях необходимо исключить механические воздействия на испытуемый образец, так как это может привести к существенным погрешностям при определении магнитных характеристик материала.

В данной лабораторной работе исследуется магнитный гистерезис шести цилиндрических (диаметр – 6мм, длина – 140мм)

образцов из стали 65 после различных видов термической обработки.

Образцы помечены рисками, которые соответствуют следующим видам их термической обработки:



Механические и физические свойства металлов

	- нормализация (охлаждение на воздухе)
	- закалка + отпуск при 200°C
	- отжиг (охлаждение с печью)
	- закалка + отпуск при 600°C
	- закалка
	- закалка + отпуск при 400°C

Порядок выполнения работы

1. Проверить правильность сборки лабораторной установки.
2. С разрешения преподавателя включить установку.
3. Поместить образец с риской I в датчик и, перемещая его относительно обмотки датчика, добиться наиболее четкого изображения петли гистерезиса на экране осциллографа.
4. Скопировать на кальку (либо сфотографировать цифровой фотокамерой) с экрана осциллографа полученное изображение петли гистерезиса с указанием основных её параметров в относительных единицах.
5. Повторить действия п.п.3,4 для оставшихся пяти образцов.
6. Сравнить и проанализировать отличия полученных петель гистерезиса образцов, в зависимости от вида термической обработки.

Содержание отчёта:

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические предпосылки, необходимые для выполнения лабораторной работы.
3. Принципиальная схема лабораторной установки для регистрации гистерезисных кривых.
4. Осциллограммы петель гистерезиса всех образцов.
5. Выводы по работе, содержащие анализ кривых гистерезиса образцов стали 65 после различных видов и режимов термической обработки с объяснением особенностей изменения магнитных параметров стали в зависимости от её структуры.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ СТАЛИ МЕТОДОМ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ВЗВЕШИВАНИЯ

Цель работы: методом гидростатического взвешивания определить плотность стали 45, после различных режимов термической обработки.

Плотностью материала d называется масса его единицы объема. Зная массу m и объем V материала, можно вычислить плотность по формуле:

$$d = \frac{m}{V} . \quad (1)$$

Удельный объем V_v материала характеризует объем единицы его массы и является величиной, обратной плотности:

$$V_v = \frac{1}{d} . \quad (2)$$

Из формулы (1) следует, что определение плотности материала сводится к определению массы и объема испытуемого образца. Масса измеряется при помощи аналитических весов ВЛА-200М. Что касается определения объема, то его можно производить двумя методами: пикнометрическим и гидростатическим.

Для исследовательских целей чаще используют гидростатический метод. Он основан на законе Архимеда. Испытуемый образец дважды взвешивается на аналитических весах: на воздухе и после погружения в жидкость, хорошо смачивающую поверхность образца (дистиллированная вода, спирт и т.д.). Если масса образца на воздухе P , а в жидкости Q , то $P-Q$ равняется массе вытесненной жидкости. Зная плотность этой жидкости δ , можно вычислить ее объем, вытесненный образцом, или, другими словами, объем образца:

$$V = \frac{P - Q}{\delta} , \quad (3)$$

а также его плотность:

$$d' = \frac{P}{V} = \frac{P}{P - Q} \cdot \delta \quad (4)$$

или с учетом поправки на плотность воздуха λ :

$$d' = \frac{P}{P - Q} \cdot (\delta - \lambda) + \lambda . \quad (5)$$



Образец обычно подвешивают на волоске или тонкой нити малого диаметра. Массу волоска или нити измеряют и учитывают при вычислении плотности.

С плотностью тесно связано понятие молярного объема – объема моля вещества:

$$V_M = \frac{M}{d}, \quad (6)$$

где M - молярная масса.

Под атомным объемом понимают объем, приходящийся на один атом вещества, который связан с молярным объемом формулой:

$$\Omega = \frac{V_M}{N_A}, \quad (7)$$

где $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ - число Авогадро.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА УДЕЛЬНЫЙ ОБЪЁМ СТАЛИ

Установлено, что максимальным удельным объёмом обладает мартенсит закалки, а с повышением температуры отпуска, по мере приближения фазового состава и структуры стали к равновесному состоянию, этот показатель снижается. Однако уменьшение удельного объёма стали при отпуске не носит монотонный характер. Например, распад остаточного аустенита, всегда присутствующего в том или ином количестве в структуре стали после закалки, сопровождается увеличением удельного объёма. Регистрируя объёмные изменения закалённой стали в процессе отпуска, получают информацию о протекании в ней фазовых и структурных превращений. На этом физическом явлении основан один из широко распространённых методов исследования в металловедении - дилатометрический анализ.

С помощью дилатометрического анализа при отпуске углеродистой закалённой стали выявлены четыре температурных интервала изменения длины закалённого образца: уменьшение при 80-200°C, увеличение при 200-300°C и последующие уменьшения длины сначала в температурном интервале 300-400°C, а затем при 400-650°C (рис. 1).

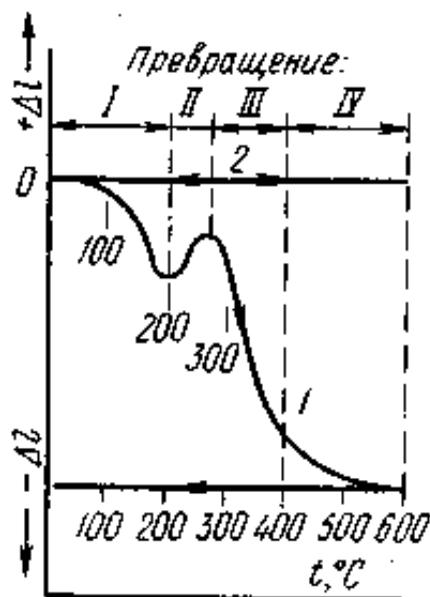


Рис. 1. Дилатометрическая кривая отпуска стали

Соответствующие превращения принято называть первым, вторым, третьим и четвёртым превращениями при отпуске. Следует отметить, что реальные температурные интервалы протекания этих превращений в значительной степени перекрываются, однако наиболее интенсивно они протекают при указанных выше температурах.

После закалки структура стали состоит из мартенсита и небольшого количества остаточного (непревращённого) аустенита. Мартенсит обладает максимальным удельным объёмом.

Первое превращение связано с распадом мартенсита, которое в интервале температур 80—200°C не вызывает видимых в металлографический микроскоп изменений в структуре. При этом уменьшается степень тетрагональности кристаллической решетки мартенсита вследствие выделения из нее углерода в виде промежуточного ε -карбида. Кристаллическая решетка ε -карбида когерентно связана с решеткой мартенсита. Уменьшение степени тетрагональности мартенсита сопровождается уменьшением удельного объёма стали и укорочением образца. Сталь после такого отпуска имеет структуру мартенсита отпуска.

При температурах 200-300°C в закалённой углеродистой стали распадается остаточный аустенит. Он превращается в



Механические и физические свойства металлов

структуру, очень напоминающую мартенсит отпуска, а поскольку аустенит имеет меньший удельный объём чем мартенсит, то это превращение сопровождается увеличением удельного объёма стали и, следовательно, удлинением образца.

При температурах 300-400°C усиливаются диффузионные процессы, ε -карбид превращается в карбид железа (цементит), который обособливается от решетки мартенсита в виде высокодисперсных зёрен. Протекает так называемое карбидное превращение, снимаются напряжения, которые были обусловлены упругой когерентной связью решёток мартенсита и промежуточного ε -карбида и всё это происходит на фоне дальнейшего обеднения мартенсита углеродом. Все перечисленные явления сопровождаются уменьшением удельного объёма стали и укорочением образца. Структура стали после среднего отпуска состоит из слегка пересыщенного углеродом α -железа (мартенсита) и дисперсных частиц карбида зернистой формы и её называют трооститом отпуска.

В интервале температур 500—650°C (высокий отпуск) наблюдается окончательный выход углерода из решётки железа, при температурах близких к A_c , достигается его равновесная концентрация и параллельно протекает сфероидизация и укрупнение (коалесценция) частиц цементита. Перечисленные процессы также сопровождаются уменьшением удельного объёма и укорочением образца закалённой стали. Микроструктура стали после высокого отпуска состоит из ферритной матрицы с вкраплением цементитных зёрен более грубодисперсных, чем в троостите отпуска и носит название сорбита отпуска.

Нормализацией называют нагрев стали до аустенитного состояния с последующим охлаждением на воздухе. При нормализации происходит перекристаллизация стали. В результате охлаждения на воздухе происходит диффузионный распад аустенита с образованием феррито-цементитной смеси.

Отжигом называют нагрев стали до аустенитного состояния с последующим медленным охлаждением (обычно вместе с печью). При отжиге также, как и при нормализации, происходит диффузионный распад аустенита на феррито-цементитную смесь, но при более медленном охлаждении, поэтому структура стали приближается к фазовому равновесию.

В данной работе исследуется плотность шести образцов из качественной конструкционной стали 45 после различных видов режимов термической обработки: закалки; закалки с низким, средним и высоким отпуском; нормализации и отжига. Нагрев об-



Механические и физические свойства металлов

разцов осуществлялся в лабораторной электропечи типа СНОЛ 1,6. Режимы нагрева были выбраны стандартными для данной марки стали.

Порядок выполнения работы

1. Следуя нижеприведенной инструкции, провести проверку и настройку аналитических весов.

а) В заарретированном положении весов, на прикрепленную к их левой чаше нить, подвесить испытуемый образец.

б) Открыть правую створку весов, с помощью пинцета поместить на правую чашу необходимый груз в виде разновесов. Закрывать створку. Также необходимую массу груза (до грамма) можно вывесить с помощью двух лимбов (малого и большого). Малый лимб вывешивает десятки миллиграммов, большой сотни.

с) Разарретировать весы. Следя за показаниями светового индикатора, вычислить массу образца. При необходимости (если световой указатель выходит за крайнее деление шкалы) повторить пункты б) и с).

д) По окончании лабораторной работы необходимо: заарретировать весы, удалить пинцетом разновесы, установить лимбы на ноль.

При работе с весами ВЛА – 200М запрещается:

- подвешивать образец, устанавливать или снимать разновесы в разарретированном положении весов;
- во время и после работы, оставлять открытыми створки весов;
- помещать и удалять разновесы руками.

2. Взвесить образец на воздухе (τ_i).

3. Установить под левой чашей весов подставку и установить на нее емкость с дистиллированной водой.

4. Погрузить подвешенный образец в воду и, убедившись в отсутствии на образце пузырьков воздуха, произвести взвешивание (τ'_i).

5. Вычислить массу воды, вытесненной образцом ($\tau_{ж}$):

τ_i - масса образца на воздухе;

τ'_i - масса образца в воде;

$\tau_i - \tau'_i = \tau_{ж}$ - масса воды, вытесненной образцом.

6. Вычислить объем образца, равный объему вытесненной



жидкости.

$$\text{Образца} = \frac{m_{\text{жс}}}{\rho_{\text{жс}}} = \frac{m_i - m'_i}{\rho_{\text{жс}}}, \quad (8)$$

где $\rho_{\text{жс}}$ - плотность воды.

7. Вычислить плотность образца:

$$\rho_i = \frac{m_i}{V_{\text{жс}}} = \frac{m_i}{m_i - m'_i} \cdot \rho_{\text{жс}}. \quad (9)$$

8. Полученные результаты определения плотности всех шести образцов стали занести в таблицу. Образцы (помечены рисками) имеют следующую маркировку: закалка - одна риска; закалка + отпуск 200°C – две риски ; закалка + отпуск 400°C – три риски ; закалка + отпуск 600°C – четыре риски; нормализация – пять рисков; отжиг - шесть рисков.

9. По результатам эксперимента построить график зависимости плотности стали от режима термической обработки (закалка, закалка с низким (200°C), средним (400°C) и высоким (600°C) отпуском, нормализация и отжиг).

10. Сделать выводы и дать объяснение влияния режима термической обработки на плотность (удельный объём) качественной конструкционной стали с содержанием углерода 0,45% (по массе).

Требования к отчету

Отчет должен содержать: цель работы, краткое описание теории, расчетные формулы, таблицу с результатами, график, выводы и объяснения по экспериментальной части.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРА- И ДИАМАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Цель работы: определить магнитную восприимчивость алюминия, эбонита, стекла и сплава Вуда (Bi – 50%, Pb – 25%, Sn – 12,5%, Cd – 12,5%).

Интенсивностью намагничивания J называется магнитный момент единицы объема V :

$$\bar{J}_m = \frac{M}{V} \cdot [\text{А/м}]$$

Между напряженностью внешнего магнитного поля H и интенсивностью намагничивания тела существует зависимость:

$$\bar{J}_m = \chi \cdot \bar{H},$$

где χ - магнитная восприимчивость вещества.

Различают магнитную восприимчивость, приходящуюся на единицу объема (χ_v - безразмерная), удельную χ_g ($\text{м}^3/\text{кг}$) и молярную χ_M ($\text{м}^3/\text{моль}$), связанные между собой следующими соотношениями:

$$\chi_g = \frac{\chi_v}{d} \quad \text{и} \quad \chi_M = \chi \cdot V_v = \chi_g \cdot M,$$

где d - плотность, V - объем, M - молярная масса.

В зависимости от знака и величины магнитной восприимчивости, а также ориентации магнитных моментов атомов вещества подразделяют на пять групп:

1. Диамагнетики
2. Парамагнетики
3. Антиферромагнетики
4. Ферромагнетики
5. Ферромагнетики

1. Диамагнетики характеризуются тем, что их магнитная восприимчивость невелика ($10^{-5} \div 10^{-6}$), отрицательна и не зависит от напряженности магнитного поля. В результате диамагнетики выталкиваются из области с наибольшей напряженностью (рис.1). К диамагнетикам относятся благородные металлы (Au, Ag), Si и некоторые соедине-

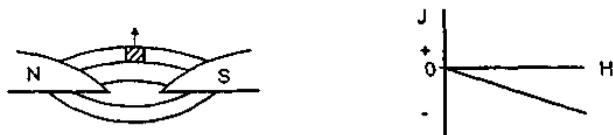


Рис. 1. Влияние магнитного поля на диамагнетики

2. Парамагнетики характеризуются небольшой по величине, но положительной магнитной восприимчивостью. При помещении в магнитное поле парамагнетики втягиваются в область с наибольшей напряженностью (рис.2). Магнитная восприимчивость парамагнетиков зависит от температуры и подчиняется закону Кюри-Вейса:

$$\chi_m = \frac{C}{T - Q},$$

где C - константа Кюри,

Q - парамагнитная точка Кюри.

К парамагнетикам относятся щелочные металлы (Na, K) и все переходные, за исключением Fe, Co, Ni.

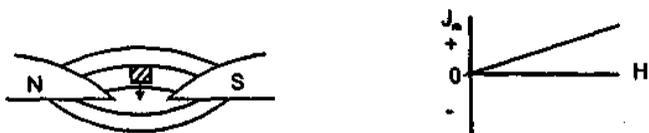


Рис. 2. Влияние магнитного поля на парамагнетики

3. Антиферромагнетики, как и парамагнетики, характеризуются невысокими значениями магнитной восприимчивости. Локализованные магнитные моменты атомов расположены строго определенно в пространстве, причем, соседние атомы имеют антипараллельные моменты. Примером антиферромагнетика является Sr при низких температурах и некоторые интерметаллиды.

4. Ферримагнетики аналогично антиферромагнетикам характеризуются антипараллельными магнитными моментами, которые, однако не равны по величине друг другу. Ферримагнетизм проявляется в основном в химических соединениях: Fe_3O_4 (магнетит).

5. Ферромагнетики характеризуются тем, что магнитные моменты их атомов, даже в отсутствие внешнего магнитного поля выстраиваются строго параллельно друг другу и создают



Механические и физические свойства металлов

собственное внутреннее магнитное поле. Они обладают высокой магнитной восприимчивостью. Необходимым условием возникновения ферромагнетизма является наличие недостроенной d- и f-оболочек электронов. Такое условие выполняется в элементах триады железа (Fe, Ni, Co) и редкоземельных элементах с недостроенной 4g-оболочкой (церий - Ce, самарий - Sm и др.). Как было отмечено, в ферромагнетиках магнитные моменты располагаются параллельно друг другу. Однако такое расположение в крупных масштабах термодинамически не выгодно, поскольку приводит к увеличению магнитной энергии тела. Поэтому весь объем ферромагнетика разбивается на небольшие участки - так называемые области спонтанного намагничивания или домены, имеющие определенно направленный магнитный момент. Друг от друга домены отделены слоями (стенками), в которых происходит изменение ориентации магнитных моментов соседних доменов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ ПАРА- И ДИАМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Методы измерения восприимчивости пара- и диамагнитных материалов могут быть разделены на две группы в зависимости от численных значений магнитной восприимчивости.

Первую группу составляют методы, основанные на измерении напряженности магнитного поля, создаваемого испытуемым образцом под действием внешнего магнитного поля. Это методы Фарадея, Гуи, позволяющие измерять восприимчивость образца порядка 10^{-8} ед. и более.

Метод Фарадея заключается в измерении силы F , действующей на образец малых размеров, помещенный в неоднородное магнитное поле. Сила F пропорциональна магнитной восприимчивости образца χ и его объему V :

$$F = K \cdot \chi \cdot V \cdot \mu_0,$$

где μ_0 - магнитная проницаемость воздуха;

K - коэффициент, величина которого зависит от напряженности поля и его градиента в направлении наибольшего изменения напряженности.

При изменении магнитной восприимчивости пара- и диа-



Механические и физические свойства металлов

магнитных материалов методом Гуи, один конец цилиндрического образца помещается в сильное однородное магнитное поле напряженностью H , а другой - также в однородное магнитное поле малой напряженности H_0 . Сила, действующая на образец, один конец которого находится между полюсами электромагнита в поле напряженностью H , в вертикальном направлении Z связана с его магнитной восприимчивостью соотношением:

$$F_z = \mu_0 \cdot \frac{\chi \cdot S}{2} (H^2 - H_0^2),$$

где S - площадь сечения образца;

H напряженность у второго конца образца.

Эта сила может быть уравновешена с помощью рычажных весов (рис.3):

$$F_z = m \cdot g,$$

где m - масса гирь.

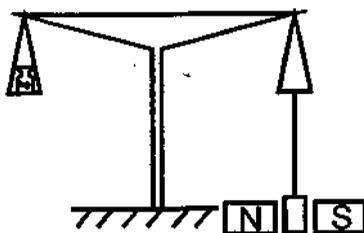


Рис. 3. Принципиальная схема метода Гуи

В зависимости от того, пара- или диамагнитен материал, образец будет втягиваться в поле или выталкиваться из него и соответственно этому изменится знак разности масс гирь в поле и без поля. Тогда, удельная магнитная восприимчивость выразится формулой:

$$\chi = \frac{2 \cdot m \cdot g}{\mu \cdot D \cdot S \cdot (H^2 - H_0^2)},$$

где D - плотность образца;

S - площадь сечения образца.

Если необходимо внести поправку на восприимчивость воздуха и его плотность, получим:

$$\chi = \chi_0 \cdot \frac{D_0}{D} + \frac{2 \cdot m \cdot g}{\mu \cdot D \cdot S \cdot (H^2 - H_0^2)},$$

где χ_0 - магнитная восприимчивость воздуха;



D_0 - плотность воздуха.

Образцы должны подвешиваться по оси симметрии электромагнита для того, чтобы на них не действовала сила в горизонтальном направлении при наличии градиента напряженности поля в горизонтальной плоскости.

Чтобы погрешность измерений восприимчивости была минимальной, поле между полюсами должно быть как можно более однородным. Для этого полюсные наконечники изготавливаются из однородного материала с плоскопараллельными поверхностями в области максимальной напряженности поля и имеют специальную конфигурацию для создания заданного градиента напряженности магнитного поля по длине образца.

Порядок выполнения работы

1. Изучить схему лабораторной установки (рис.4).
2. Убедиться в правильности её сборки.

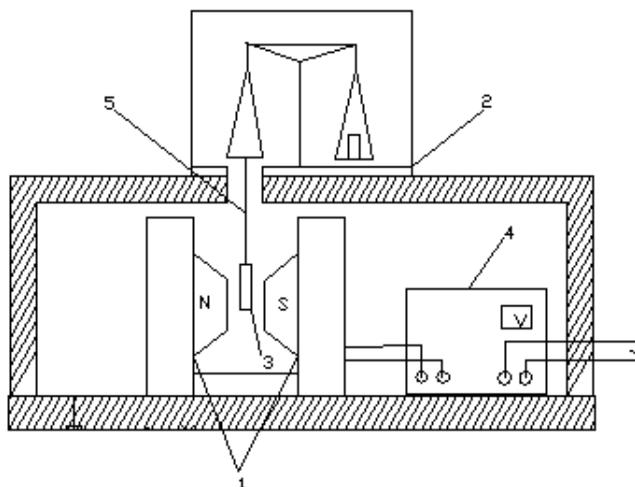


Рис. 4. Схема лабораторной установки для определения магнитной восприимчивости:

- 1- электромагнит; 2- весы; 3-образец; 4- выпрямитель; 5- нить

3. Следуя нижеприведенной инструкции, провести проверку и настройку аналитических весов.



Механические и физические свойства металлов

а) В заарретированном положении весов, на нить, прикреплённую к их левой чаше, подвесить испытуемый образец между полюсами электромагнита.

б) Открыть правую створку весов и с помощью пинцета поместить на правую чашу необходимую массу в виде разновесов. Закрыть створку. Также необходимую массу (до грамма) можно вывесить с помощью двух лимбов (малого и большого). Малый лимб вывешивает десятки миллиграммов, большой - сотни.

с) Разарретировать весы. Следя за показаниями светового индикатора вычислить массу образца. При необходимости (если световой указатель выходит за крайние деления шкалы) повторить пункты б) и с).

д) По окончании лабораторной работы: заарретировать весы, удалить пинцетом разновесы, установить лимбы на ноль.

При работе с весами ВЛА – 200М запрещается:

- подвешивать образец, устанавливая или снимая разновесы в разарретированном положении весов;
- во время и после работы оставлять открытыми створки весов;
- помещать и удалять разновесы руками.

4. Измерить массу образца в отсутствие магнитного поля (m_N).

5. Включить выпрямитель.

6. Измерить массу образца в поле электромагнита (m_{MN}).

7. Рассчитать величину магнитной восприимчивости образца χ по формуле:

$$\chi_n = \frac{\chi_s \cdot m_s}{\Delta F_s} \cdot \frac{\Delta F_N}{m_N},$$

где $\Delta F_N = (m_N - m_{MN})$ - при выталкивании;

$\Delta F_N = m_{MN} - m_N$ - при втягивании.

В качестве эталона выбран кварц, имеющий следующие показатели:



Механические и физические свойства металлов

χ_3 - магнитная восприимчивость - $1 \cdot 10^{-6}$;

m_3 - масса эталона - 1г;

ΔF_3 - сила, действующая на эталон $6 \cdot 10^{-4}$ гс.

При напряжении источника питания 75В максимальная напряжённость магнитного поля в зазоре электромагнита составляет 0.4Т, а значение первого сомножителя в вышеприведенной расчётной формуле – константа:

$$\frac{\chi_3 \cdot m_3}{\Delta F} = const = 16,6 \cdot 10^{-4} .$$

8. Определить, к какой группе магнетиков принадлежит каждое из исследуемых веществ (Al, эбонит, стекло и сплав Вуда).

9. Сделать выводы о принадлежности исследованных образцов к соответствующей группе магнетиков.

Требования к отчету

Отчет должен содержать: цель работы, краткое описание теории, расчетные формулы, полученные результаты и выводы по экспериментальной части.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ МЕТОДОМ ТЕРМОДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Цель работы: изучить метод термодифференциального анализа и определить температуры фазового превращения по термограмме.

Термический анализ является одним из распространённых методов определения температур фазовых превращений. Он основан на выделении или поглощении тепловой энергии (скрытой теплоты превращения) при фазовых превращениях. При проведении термического анализа записывают кривые нагревания или охлаждения образцов (термограммы).

Известно несколько способов записи термограмм. Чаще всего запись производится в координатах:

1. Температура образца T - время t (простая термограмма).
2. Разность температур эталона и образца ΔT - время t (дифференциальная термограмма).
3. Разность температур эталона и образца ΔT - температура образца T (дифференциальная термограмма).

В данной работе рассматриваются термограммы с постоянной скоростью нагревания. В качестве эталона использован материал, не испытывающий фазовых превращений. Если в исследуемом образце протекает фазовое превращение, то в результате выделения или поглощения тепла на термограмме наблюдается отклонение от монотонного хода кривой.

Вид термограммы зависит от того, проходило ли фазовое превращение в образце при постоянной температуре или в интервале температур. В первом случае на простой термограмме ($T-t$) имеет место горизонтальная площадка при $T_{\text{пр}}=\text{const}$ (точки 1-2, рис.1а). На дифференциальной термограмме ($\Delta T-T$) началу превращения соответствует перелом в точке 1, а концу превращения - максимум отклонения в точке 2 (рис. 1б). Участок термограммы 2-3 отражает процесс выравнивания температур эталона и образца при нагревании. Температуру превращения легко определить, зная масштаб по оси температур.

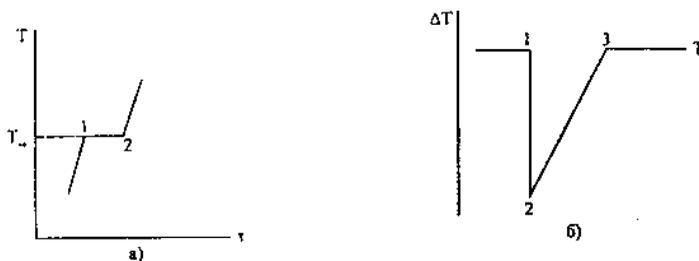


Рис. 1. Схема термограммы нагревания в координатах T - τ (а), ΔT - T (б). Нонвариантное превращение для двух видов термограмм

На рис.2 представлены схемы термограмм сплава, в котором превращение идет в интервале температур, причем темп превращения постоянен. Под темпом превращения понимают величину dm/dt , т.е. производную массы превратившегося вещества по температуре. Когда говорят, что темп превращения постоянен, это значит, что при изменении температуры на 1°C количество фазы, участвующей в превращении, является величиной постоянной.

Реальные термограммы отличаются от идеальных схем. На рис.3 приведены реальные термограммы сплава, в котором превращение идет в интервале температур с постоянным темпом. Видно, что вместо четких переломов, соответствующих началу превращения, на простой и дифференциальной термограммах наблюдается плавное изменение наклона.

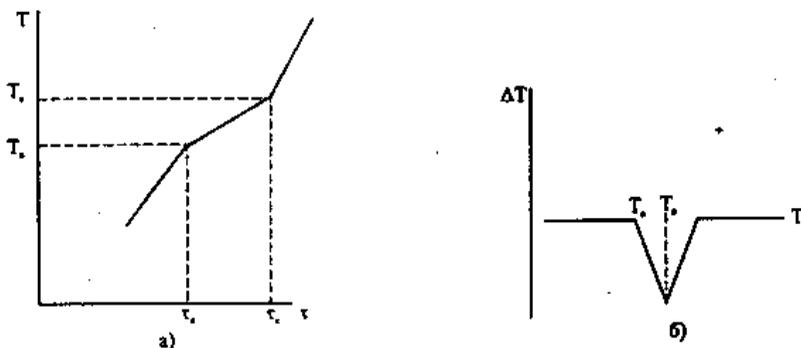


Рис. 2. Схема термограммы превращения, протекающего в интервале температур, в координатах T - τ (а), ΔT - T (б)

Концу превращения на простой термограмме также соот-



ветствует плавное изменение наклона кривой, а дифференциальная термограмма имеет гладкий экстремум. Такой вид термограммы получается из-за того, что в процессе нагревания температура на периферии образца выше, чем в центре. Поэтому периферийные участки образца достигнут температуры начала превращения раньше, чем центральные участки, где обычно устанавливают термопары. Для нахождения температуры начала и конца превращения необходимо реальные термограммы привести в соответствие с идеальными схемами. Для этого прямолинейные участки термограммы около температур начала и конца превращения нужно продлить до пересечения их между собой в точках 1, 2 (рис.3). Зная масштаб по оси температур, определяют температуру начала и конца превращения.

В большинстве сплавов темп фазовых превращений, идущих в интервале температур, не является постоянной величиной. На рис. 4а представлена термограмма для сплава, в котором превращение идет в интервале температур, причем темп превращения с повышением температуры убывает по величине.

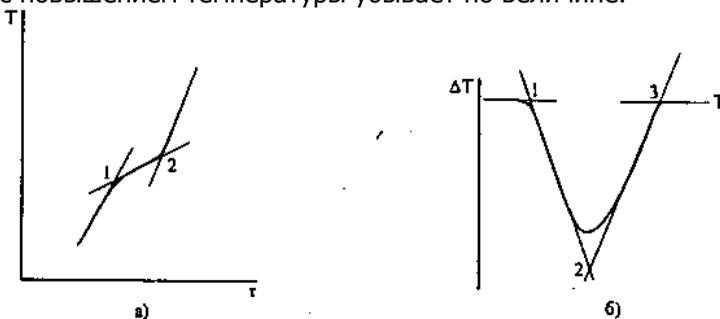


Рис. 3. Реальные термограммы нагревания сплава, для превращения, протекающего в интервале температур

В этом случае четко фиксируется начало превращения (особенно на дифференциальной кривой), т.к. в начальный момент количество превращающегося вещества велико. Участок 1-2 на дифференциальной кривой вогнутый, поскольку темп превращения убывает. На завершающей стадии превращения его темп становится малым, и разность температур между образцом и эталоном начинает уменьшаться раньше, чем закончится превращение. В силу этого экстремум на дифференциальной кривой несколько опережает конец превращения, который на таких кривых, как правило, выражен нечетко.

Термограмма сплава, в котором превращение протекает с

нарастающим темпом, приведена на рис.4б. Так как в начальный момент количество превращающегося вещества мало, то температура начала превращения на дифференциальной кривой фиксируется нечетко. Поскольку темп превращения нарастает, то участок кривой 1-2 оказывается выпуклым.

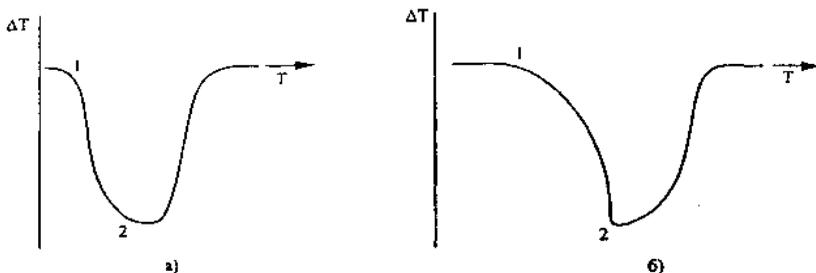


Рис. 4. Схема термограмм нагревания сплава с убывающим (а) и нарастающим (б) темпом превращения

Методика выполнения работы

Для того чтобы при нагревании или охлаждении образца и эталона разность температур между ними была бы минимальной, а чувствительность дифференциального анализа к тепловому эффекту максимальной, теплоемкость и теплопроводность эталона и образца должны быть близки. Помимо этого массы образца и эталона должны быть таковы, что их произведения на удельную теплоемкость для образца и эталона были бы равны.

Для проведения термодифференциального анализа (ТДА) в работе использован медный эталон. В исследуемом образце из стали У8 и эталоне засверлены отверстия, в которые зачеканены спаи термопар. Применяются два вида термопар: простая термопара и дифференциальная термопара (рис.5а), которая представляет собой две простые термопары, соединенные термоэлектродами одного знака (термоэлектрические токи в них текут навстречу друг другу). Иногда применяют комбинированную термопару, схема которой приведена на рис.5б. В ней один из элементов выполняет как функции горячего спаи простой термопары, так и функции одного из спаев дифференциальной термопары. В комбинированной термопаре в исследуемое вещество вводится только один термоэлемент и это позволяет проводить термоанализ малых навесок сплава. Схема подводки термопар к образцу и эталону показана на рис.5а. В стальной образец 1 помещается

спай простой термопары и один из спаев дифференциальной, другой ее спай находится в эталоне 2. Простая термопара подсоединена к клеммам "+" и "-" координаты "X", а дифференциальная - "Y" двухкоординатного самописца, с помощью которого регистрируется термограмма. Кроме того, параллельно клеммам "+" и "-" координаты "X" (т.е. к простой термопаре) подключён стрелочный пирометрический милливольтметр. При нагревании спаев дифференциальной термопары в них наводится термоЭДС и возникают термоэлектрические токи, направленные навстречу друг другу (рис.5а). Отклонение самописца происходит лишь в том случае, когда спаи эталона и образца нагреты до разных температур.

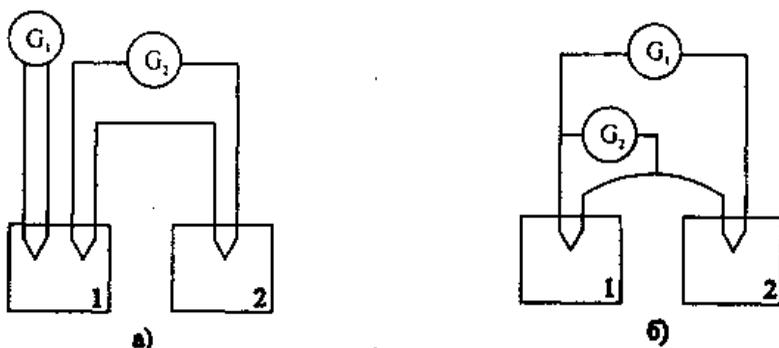


Рис.5 Схемы включения простой и дифференциальной термопар (а), комбинированной термопары (б)

Принципиальная схема установки, используемой в работе для термодифференциального анализа, показана на рис.6. Установка состоит из печи 1, в рабочее пространство которой помещена массивная медная подставка 2 с гнездами для образца и эталона. В последние зачеканены платина – платинородиевые термопары. Скорость нагрева может регулироваться с помощью встроенного в печь реостата 3. В качестве регистрирующего прибора используется двухкоординатный самописец 4 марки Н306. Для измерения температуры стального образца используется пирометрический милливольтметр 5 марки ГПКП, подключенный параллельно клеммам координаты X самописца.

Порядок выполнения работы

1. Установить ручки и переключатели двухкоординатного самописца в следующие положения: координата X – «0», координата Y – «0», кнопки «мотор» и «перо» - отжаты, а X и Y – нажаты.

2. На вставных блоках выставить чувствительность:



Механические и физические свойства металлов

для координаты $X - 0,5\text{мВ/см}$, для $Y - 0,1\text{мВ/см}$.

3. Включить самописец в сеть и с помощью ручек установки нуля устранить возможное зашкаливание пера. Прогреть самописец 20-30 минут.

4. С помощью отвертки установить перо и вывести его в нижний левый угол ручками установки нуля.

5. Протереть поверхность самописца и установить координатную бумагу.

6. Ручкой горизонтальной установки нуля проверить пишущую способность пера и отрегулировать его нажим так, чтобы перо свободно перемещалось по поверхности бумаги и наносило тонкую линию.

7. Вывести перо на исходную точку: по $X -$ на 1 см, по $Y -$ на 10 см.

8. Нажать кнопки «перо» и «диагр».

9. Включить печь.

10. В течение всего цикла нагрева (ориентировочно 1,5 часа), через каждые 5 минут, производить считывание по милливольтметру и запись в рабочей тетради температуры образца.

11. В момент резких изменений на дифференциальной термограмме зафиксировать температуру начала и окончания фазового превращения по милливольтметру.

12. После завершения фазового превращения (отсутствие изменений на дифференциальной термограмме) выключить печь.

13. Снять перо и бумагу.

14. Отключить самописец.

15. Построить в отчёте дифференциальную термограмму, аналогичную зарегистрированной самописцем (зависимость разности температур эталона и образца ΔT от температуры образца T).

16. Построить в отчёте простую термограмму нагрева (зависимость температуры стального образца T от времени t).

Требования к отчету

Отчет должен содержать: цель работы; краткие сведения из теории; принципиальную схему установки и соединения термодифференциальную кривую, полученную в результате эксперимента; простую термограмму нагрева; температуры начала и конца фазового превращения; выводы о природе зарегистрированного фазового превращения и особенностях его кинетики.



Меры безопасности при проведении работы

1. Во время работы избегайте прикосновения к печи, это может привести к поражению электрическим током или термическому ожогу.

2. Не рекомендуется прикасаться к проводам, контактной пластине, термопарам и перу, чтобы сохранить работоспособность схемы и обеспечить минимальную погрешность измерения.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5. ИЗУЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НИХРОМА

Цель работы: изучение температурной зависимости и определение температурного коэффициента электрического сопротивления нихрома.

Общие положения

Физическая величина, характеризующая электрические свойства материала, называется удельным сопротивлением ρ (сопротивление проводника единичной длины и площадью поперечного сечения, равной единице). Эта характеристика имеет размерность Ом мм²/м, определяется природой металла или сплава, зависит от его строения, фазового состава и может быть рассчитана по формуле:

$$\rho = \frac{R \cdot l}{S} \quad (\text{Ом мм}^2/\text{м}), \quad (1)$$

где R - электрическое сопротивление материала (Ом);
 l - длина проводника (м);
 S - площадь поперечного сечения проводника (мм²).

Зависимость удельного электрического сопротивления металлов и сплавов от температуры (при температурах выше 20°C) можно представить следующим уравнением:

$$\rho_T = \rho_0(1 + \alpha_{cp}\Delta T), \quad (2)$$

где ρ_T - удельное сопротивление при температуре T ;
 ρ_0 - удельное сопротивление при температуре T_0
 (обычно 20°C);

.....;
 α_{cp} - средний термический коэффициент электрического сопротивления в температурном интервале

Из предыдущего уравнения получаем α_{cp}



$$\alpha_{CP} = \frac{\rho_T - \rho_0}{\rho_0 \Delta T} \quad . \quad (3)$$

Величина α_{CP} в отличие от R не зависит от размеров исследуемого образца и от наличия в нем макродефектов (внутренних несплошностей, трещин и т.д.). Поэтому, зная α_{CP} , можно точно определить значение α материала при любой температуре.

В сплавах электросопротивление зависит от химического и фазового состава, а также от типа взаимодействия компонентов в твёрдом состоянии. Например, электросопротивление чувствительно к атомному упорядочению в твёрдых растворах. При фазовых и структурных превращениях электросопротивление также претерпевает резкие изменения.

Метод, основанный на измерении электросопротивления, применяется в металловедении для изучения диаграмм состояния и кинетики фазовых превращений при термической обработке. Кроме того, измерение электросопротивления позволяет получать информацию о концентрации дефектов кристаллического строения в металлических материалах.

Методы измерения электросопротивления

Изменения электросопротивления, как правило, невелики, в связи с чем приходится использовать достаточно чувствительные приборы и методы измерения.

Электросопротивление может быть измерено на постоянном или переменном токе. Чаще используют приборы постоянного тока, обладающие большей точностью и чувствительностью.

Вольтметры и амперметры являются простейшими приборами для измерения электросопротивления, но имеют недостаточную чувствительность и наилучших результатов достигают, применяя компенсационные методы измерений с помощью потенциометров и мостов.

Потенциометрический метод измерения основан на сравнении падения напряжения на эталонном сопротивлении с падением напряжения на образце. Такое сравнение осуществляют нулевым методом, при котором в момент компенсации через нулевой индикатор ток не протекает. Потенциометрический метод обеспечивает высокую точность измерений и широко используется в



практике.

Мостовые схемы также применяются для измерения активных и реактивных сопротивлений. Как правило, активные сопротивления измеряют с помощью мостов постоянного тока.

Простейший мост Уитстона состоит из четырех сопротивлений, источника тока и нуля-гальванометра. В состоянии равновесия моста (когда ток через нуль-гальванометр равен нулю) неизвестное сопротивление вычисляют по известным значениям остальных трех сопротивлений.

Точность измерений с применением моста любого типа определяется относительными величинами и расположением сопротивлений в плечах моста, а также чувствительностью гальванометра. Чувствительность мостовой схемы возрастает с увеличением тока в цепи моста, однако его рост не должен приводить к изменению сопротивлений вследствие нагрева.

Влияние термоэлектрических эффектов в контактах и переходных сопротивлениях исключают последовательными измерениями с переполюсовкой источника питания.

Для пояснения принципа работы потенциметрической схемы на рис.1 приведена схема простейшего потенциометра.

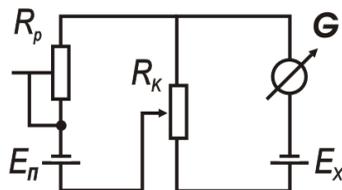


Рис. 1 Схема простейшего потенциометра

Установленный регулировочным сопротивлением реостата R_p рабочий ток создает падение напряжения на компенсирующем сопротивлении R_k (декадах потенциометра). Это падение напряжения используется в качестве компенсирующей ЭДС, которая направлена навстречу измеряемой E_x . Изменяя напряжение на декадах потенциометра уравнивают значения этих ЭДС. Когда компенсирующая ЭДС E_k станет равной измеряемой E_x , нуль-гальванометр G покажет отсутствие тока в цепи.

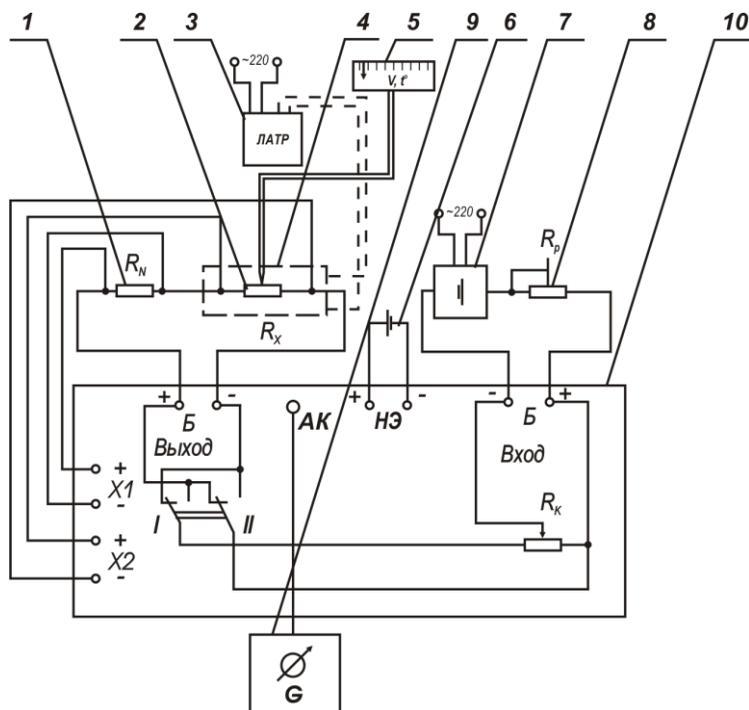


Рис. 2 Структурная схема измерения электросопротивления:

1 – эталонное сопротивление R_N , $R_N = 42 \text{ Ом}$; 2 – неизвестное сопротивление R_X (исследуемый образец); 3 – лабораторный автотрансформатор (ЛАТР); 4 – трубчатая электропечь; 5 – термоэлектрический милливольтметр с термопарой; 6 – нормальный элемент Вестона, $V=1,063 \text{ В}$; 7 – источник питания; 8 – реостат; 9 – автокомпенсатор напряжения (АК), с нуль-гальванометром; 10 – блок измерительный (БИ), состоящий из потенциометра Р363 с компенсирующим сопротивлением R_K

В данной работе используется лабораторная установка, основанная на потенциометрическом методе измерения электросопротивления, структурная схема которой представлена на рис. 2.

На рис. 2 нормальный элемент введен в схему для компенсации ЭДС питания всей схемы. Паразитные термо-ЭДС в цепи эталонного сопротивления R_N и образца R_X исключают измерением электросопротивления при различных направлениях тока в образце, для чего служит переключатель направления тока.



Механические и физические свойства металлов

Наличие двух пар зажимов U_X (X1 и X2) у потенциометра Р363 позволяет измерять сопротивления (R_N и R_X) без дополнительных переключателей.

На рис.3 приведен общий вид лабораторной установки, используемой в данной работе (нумерация элементов соответствует нумерации элементов структурной схемы на рис. 2).

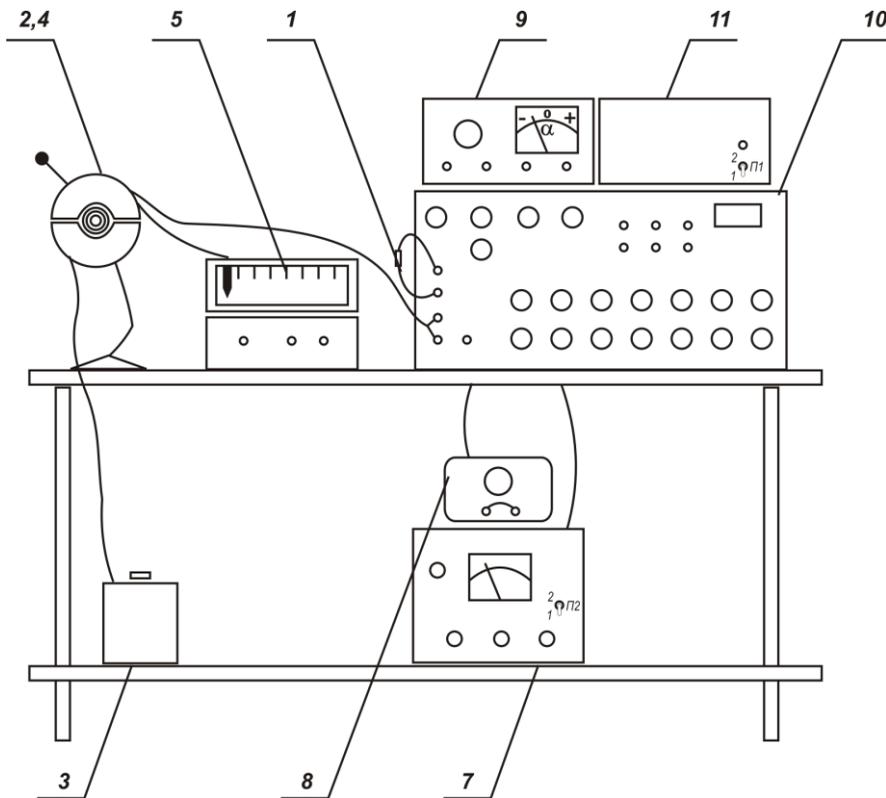


Рис 3. Общий вид лабораторной установки
(11– стабилизатор напряжения постоянного тока ПЗ6-1)

Для включения установки необходимо подключить установку к сети, а затем последовательно установить переключатель П1 на блоке 11 и переключатель П2 на блоке 7 в положение 2 (см. рис.3).



Задание

1. Ознакомиться с устройством лабораторной установки для измерения электросопротивления потенциметрическим методом, используя рис.2 и рис.3.

2. Измерить электросопротивление нихромовой проволоки при нормальной температуре (20 °С) и нагреве. Данные, полученные при измерениях, свести в таблицу (см. ниже), где:

- α – значения чувствительности прибора АК в мВ во время измерений U_X и U_N при прямом $\alpha_{N,1}$, $\alpha_{X,1}$ и обратном $\alpha_{N,2}$, $\alpha_{X,2}$ направлениях тока;

- U – значение декад первого ряда потенциометра в мВ при прямом $U_{N,1}$ и обратном $U_{N,2}$ направлениях тока;

- $U_{X,1}$ – значение декад второго ряда потенциометра в мВ при прямом направлении тока;

- R_N – значение эталонного сопротивления в Ом (42 Ом);

- R_X – значение неизвестного сопротивления в Ом;

- t – температура, при которой производится измерение в °С;

Результаты измерений электросопротивления нихромовой проволоки.

N	$t, ^\circ\text{C}$	$\alpha_{N,1}$ мВ	$U_{N,1}$ мВ	$\alpha_{X,1}$ мВ	$U_{X,1}$ мВ	$\alpha_{X,2}$ мВ	$\alpha_{N,2}$ мВ	$U_{N,2}$ мВ	R_N Ом	R_X Ом
1	20								42	
2	100									
3	200									
4	...									
5	700									

3. Произвести расчёт по формуле (4) (см. ниже) электросопротивления нихромовой проволоки в температурном интервале от 20 °С до 700 °С с шагом 100°С.

4. Построить график зависимости электросопротивления (Ом) нихромовой проволоки от температуры (°С) и рассчитать средний температурный коэффициент электросопротивления нихрома.



Механические и физические свойства металлов

На рис. 4 схематически изображены элементы управления, используемые в работе при измерении электрического сопротивления исследуемого образца.

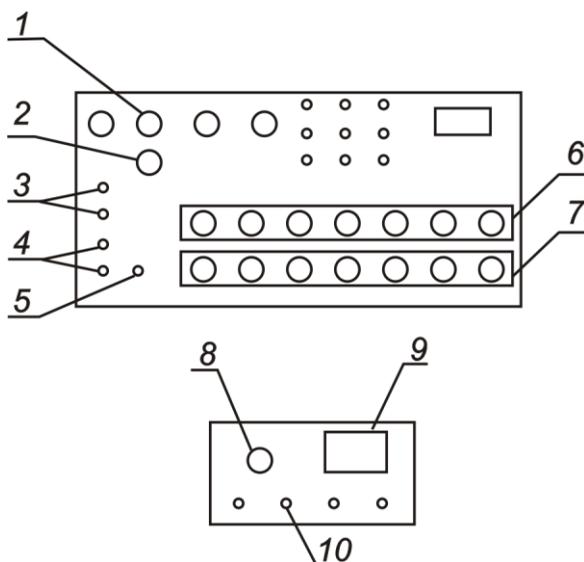


Рис. 4 – Вид передней панели БИ и АК:

- 1 – переключатель рода работы; 2 – переключатель НАПРАВЛЕНИЕ ТОКА;
 3 – клеммы X1 (эталонного сопротивления R_N); 4 – клеммы X2 (эталонного сопротивления R_X); 5 – кнопка БЛОКИРОВКА X1 и X2;
 6 – измерительные декады ряда X1; 7 – измерительные декады ряда X2;
 8 – переключатель ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ; 9 – выходной прибор АК (нуль-гальванометр); 10 – кнопка ИЗМЕРЕНИЕ

Порядок выполнения работы

- Подключите установку к сети 220 В, установите:
- на БИ переключатель 1 в положение X_1 , кнопку 5 нажмите и зафиксируйте (поворотом в нажатом состоянии);
 - на АК переключатель 8 в положение 1, кнопку 10 нажмите



Механические и физические свойства металлов

и зафиксируйте (поворотом в нажатом состоянии).

Сначала определите сопротивление при комнатной температуре ($t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Затем, включив электропечь в сеть 220 В, выполните измерения в указанном выше интервале температур, оценивая их по шкале пирометрического милливольтметра (5, рис. 3).

1. На декадах 6 БИ установите значение напряжения в интервале 75-95 мВ, соответствующее величине эталонного сопротивления (R_N).

2. Определение сопротивления выполните на прямом (п.п. *а*) - *в*) и обратном (п.п. *д*) - *ж*) направлениях тока в следующем порядке:

а) увеличьте чувствительность АК, поворачивая переключатель 8 (АК) до тех пор, пока стрелка нуль-гальванометра не отклонится от нуля. На декадах 6 (БИ) установите такое значение напряжения, чтобы стрелка нуль-гальванометра вернулась к нулю. Отсчет $U_{N,1}$ по декадам 6 (БИ) и $\alpha_{N,1}$ по положению стрелки нуль-гальванометра (АК) 9 (с учетом знака) запишите в таблицу;

б) верните переключатель 8 на АК в положение 1;

в) установите переключатель 1 (БИ) в положение X_2 . Увеличьте чувствительность, поворачивая переключатель 8 (АК) до тех пор, пока стрелка нуль-гальванометра не отклонится от нуля. На декадах 7 (БИ) установите такое значение напряжения, чтобы стрелка нуль-гальванометра вернулась к нулю. Отсчет $U_{X,1}$ по декадам 7 (БИ) и $\alpha_{X,1}$ по положению стрелки на нуль-гальванометре (АК) 9 (с учетом знака) запишите в таблицу;

г) верните переключатель 8 на АК в положение 1;

д) установите переключатель 2 (БИ) в положение II. Не изменяя установленного на декадах 7 (БИ) значения $U_{X,1}$, увеличьте чувствительность АК до тех пор, пока стрелка нуль-гальванометра не отклонится от нуля и подстройте ток в цепи R_N, R_X с помощью реостата R_p (8, рис. 3) так, чтобы стрелка нуль-гальванометра 9 (АК) установилась на отметку близкую к нулю. Отсчет $\alpha_{X,2}$ по нуль- гальванометру 9 (АК) с учетом знака запишите в таблицу;

е) верните переключатель 8 на АК в положение 1;

ж) установите переключатель 1 (БИ) в положение X_1 . Увеличьте чувствительность, поворачивая переключатель 8 (АК) до тех пор, пока стрелка нуль-гальванометра не отклонится от



Механические и физические свойства металлов

нуля. На декадах 6 (БИ) установите такое значение напряжения, чтобы стрелка нуль-гальванометра вернулась к нулю. Отсчет $U_{N,2}$ по декадам 6 (БИ) и отсчет $\alpha_{X,2}$ по нуль-гальванометру 9 (АК) с учетом знака запишите в таблицу;

3. Определите значение R_X по формуле:

$$R_X = R_N \cdot \frac{\alpha_{X,1} - \alpha_{X,2} + 2 \cdot U_{X,1}}{\alpha_{N,1} - \alpha_{N,2} + U_{N,1} + U_{N,2}} \quad (4)$$

Выполняя указания п.п. 1, 2, измерение сопротивления при каждой из указанных температур следует производить быстро (в течение нескольких минут), чтобы свести к минимуму погрешность, связанную с изменением температуры нихромовой проволоки за время измерения.

4. Определите α_{cp} по формуле (3). Длина образца l составляет 40 см, диаметр поперечного сечения $d = 0,8$ мм. В формулу (3) следует подставлять значение α_T для температуры 700°C , а значение α_0 - для температуры 20°C .

5. Результаты расчётов также занесите в таблицу.

6. На основании данных таблицы, постройте график температурной зависимости электросопротивления нихромовой проволоки для интервала $20 - 700^\circ\text{C}$.

Содержание отчёта

Цель работы, краткие сведения из теории электросопротивления металлических материалов и использование этого метода как исследовательского в физическом металловедении; таблица с результатами измерений и график температурной зависимости электросопротивления нихромовой проволоки; результат расчёта удельного сопротивления нихрома при температурах 20°C и 700°C , а также среднего температурного коэффициента электросопротивления нихрома в указанном температурном диапазоне.