

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет “Запорізька політехніка”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторного практикуму та самостійної роботи
з дисципліни

ОСНОВИ МАГНІТОМЕТРІЇ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

для студентів спеціальностей
G5 “Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та
радіотехніка”, G6 “Інформаційно-вимірювальні технології”
денної й заочної форм навчання

Методичні вказівки до лабораторного практикуму та самостійної роботи з дисципліни “Основи магнітометрії конструкційних матеріалів” для студентів спеціальностей G5 “Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка”, G6 “Інформаційно-вимірювальні технології” денної й заочної форм навчання / Укл.: Г.В. Сніжної. – Запоріжжя: НУ “Запорізька політехніка”, 2026. – 56 с.

Укладач: Геннадій СНИЖНОЙ, проф., д-р техн. наук

Рецензент: Валентин ПОГОСОВ, проф., д-р фіз.-матем. наук

Відповідальний за випуск: Андрій КОРОТУН, доц., канд. фіз.-матем. наук, зав. кафедри ІБІН

Затверджено
на засіданні кафедри
“Інформаційна безпека та
наноелектроніка”

Протокол № 4
від “04” “лютого” 2026 р.

Рекомендовано до ви-дання
НМК ФІБЕК
Протокол № 6
від “04” “березня” 2026 р.

ЗМІСТ

	С.
Вступ	5
1 Лабораторна робота №1 “Визначення питомої парамагнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту та низького вмісту P_α феромагнітної альфа-фази”	6
1.1 Короткі теоретичні відомості	6
1.2 Магнітометричне обладнання типу терезів Фарадея	9
1.3. Автоматизована магнітометрична установка	11
1.4. Приклад розрахунку та визначення питомої магнітної сприйнятливості на підставі експериментальних даних	14
1.5 Порядок проведення лабораторної роботи	15
1.6 Зміст звіту	16
1.7 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю ...	17
2 Лабораторна робота №2 “Визначення числа магнетонів Бора на атом в аустенітних конструкційних сталях”	18
2.1 Короткі теоретичні відомості	18
2.2 Порядок проведення лабораторної роботи	20
2.3 Зміст звіту	20
2.4 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю	23
3 Лабораторна робота №3 “Визначення намагніченості насичення і кількості залишкового аустеніту балістичним методом”	24
3.1 Короткі теоретичні відомості	24
3.2 Завдання на підготовку до лабораторної роботи	28
3.3 Порядок проведення лабораторної роботи	29
3.4 Зміст звіту	30
3.5 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю ...	30
4 Лабораторна робота №4 „Вимірювання опору термооброблених сталей на подвійному мості Томсона”	31
4.1 Короткі теоретичні відомості	31
4.2 Завдання на підготовку до лабораторної роботи	34
4.3 Порядок проведення лабораторної роботи	34
4.4 Зміст звіту	37
4.5 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю ...	37

5 Лабораторна робота №5 „Визначення модуля нормальної пружності на резонансній електромагнітній установці”	38
5.1 Короткі теоретичні відомості	38
5.2 Завдання на підготовку до лабораторної роботи	41
5.3 Порядок проведення лабораторної роботи	41
5.4 Зміст звіту	44
5.5 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи	44
Перелік джерел посилання	45
Додаток А Приклад оформлення титульної сторінки	47
Додаток Б Патент «Спосіб визначення ударної в’язкості аустенітних манганових сталей»	48
Додаток В Патент «Спосіб визначення швидкості корозії аустенітних сталей і сплавів»	52

ВСТУП

Напружено-деформований стан є причиною, та характерною ознакою втомного руйнування. При оцінці напружено-деформованого стану металоконструкцій в основу методик покладено уявлення про наявний зв'язок між будовою (хімічним складом, наявністю та розподілом фазових включень, дислокаційною структурою) металів та їх магнітними характеристиками. Відома та багаторазово підтверджено наявність кореляційних зав'язків між магнітними властивостями (магнітна проникність та параметри магнітного гістерезису) і внутрішнім станом металу. Аустенітні та феромагнітні матеріали, переважно сталі, які в основному використовуються в металоконструкціях є магніточутливими до таких параметрів як фазовий склад, щільність дислокацій, хімічний склад та ступінь впорядкованості зерен металу. Оскільки напружено-деформований стан, концентрація напруг, дислокаційна структура та фазовий склад або не можливо, або дуже складно визначити неруйнівними методами, то їх оцінюють опосередковано, вимірюючи магнітні характеристики матеріалу і на підставі кореляційних залежностей, між ними та шуканою характеристикою.

Переважно для визначення магнітних характеристик матеріалу, а відповідно і напружено-деформованого стану використовуються багаторазове перемагнічування ділянок деталей та конструкцій із фіксацією таких характеристик, як коерцитивна сила H_c , залишкова індукція B , залишкова намагніченість M та магнітна проникність (сприйнятливність) речовини μ . Для пошуку дефектів, які являють собою порушення суцільності металу зазвичай використовують постійне намагнічування та вивчення «рисунку магнітних ліній» (магніто-порошковий метод), але вимірювання магнітних характеристик для локальних ділянок також може надати картину розподілу магнітних властивостей, їх аномальних значень та пов'язаних з ними дефектів.

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1 “ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ ПАРАМАГНІТНОЇ СПРИЙНЯТЛИВОСТІ χ_0 АУСТЕНІТУ ТА НИЗЬКОГО ВМІСТУ P_α ФЕРОМАГНІТНОЇ АЛЬФА-ФАЗИ”

Мета роботи – освоїти вимірювання питомої парамагнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту та низького вмісту P_α феромагнітної α -фази в конструкційних матеріалах.

Матеріали, обладнання: магнітометричне обладнання типу терезів Фарадея, зразки хромо-нікелевих сталей: 08X18H10, 12X18H10T, AISI 304, AISI 321 і сплаву 943; високомарганцевих сталей: Г6Л, Г8Л, Г10Л, Г13Л, Г18Л та хромомарганцеві сталі: 140ХГ7, 130Х2Г7, 130Х4Г7.

1.1 Короткі теоретичні відомості

Прогрес у сфері підвищення конкурентоспроможності, тобто оперативного й більш економічно вигідного контролю механічних і корозійних властивостей, потребує нових підходів до дослідження аустенітних сталей [1, 2].

Оскільки основну об'ємну частину цих сталей становить парамагнітний аустеніт, а при певному хімічному складі або гартуванні його кількість може досягати 100 %, то перспективним є дослідити вказані сталі з позицій атомно-магнітного стану. Тобто розглядати аустеніт передусім як парамагнетик, який характеризується своєрідною електронною будовою, для якого надчутливим параметром є питома парамагнітна сприйнятливість χ_0 (сумарний магнітний момент одиниці маси аустеніту при одиничному значенні магнітного поля). При цьому, параметр χ_0 є інтегральною характеристикою сформованого аустеніту внаслідок різноманітних факторів (хімічний склад, умови виплавлення, деформація, термообробка та ін.). Слід зауважити, що більшість досліджень присвячено вивченню магнітної сприйнятливості χ сталі (а не χ_0 аустеніту), яка може містити одночасно аустеніт і α -фазу (δ -ферит, мартенсит).

Поширеним методом регулювання структури і властивостей сталей аустенітних сталей на основі заліза є метод визначення питомої

магнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту, який містить або не містить низьку кількість феромагнітної α -фази (δ -ферит, α' -мартенсит деформації).

Аустенітна сталь розглядається як суміш двох середовищ:

- 1) парамагнітне середовище (аустеніт),
- 2) феромагнітне середовище (α -фаза).

Відповідно до цього загальну намагніченість зразка J можна вважати як суму намагніченостей обох середовищ, а саме:

$$J = J_0 + J_f \quad (1.1)$$

де J_0 і J_f – намагніченість парамагнітного і феромагнітного середовищ.

Закон наближення намагніченості до насичення для досліджуваних зразків у кінцевому випадку має такий вигляд:

$$J = \chi_0 \cdot H + (J_s + \chi_p \cdot H), \quad (1.2)$$

де J – загальна намагніченість насичення зразка в магнітному полі H ,

J_s – спонтанна намагніченість насичення α -фази,

$\chi_p \cdot H$ – парапроцесна складова намагніченості насичення α -фази зразка,

$\chi_0 \cdot H$ – парамагнітна складова намагніченості зразка,

χ_p і χ_0 – відповідно об'ємні (безрозмірні) магнітні сприйнятливості парапроцесу і аустенітної матриці.

Якщо перейти до питомого намагнічення (ділимо на густину ρ речовини), одержуємо:

$$\sigma = \sigma_m + \chi_0 \cdot H + \chi_p \cdot H \quad (1.3)$$

де σ – загальна питома намагніченість зразка,

σ_m – феромагнітна складова питомої намагніченості α -фази зразка,

H – напруженість магнітного поля,

χ_0 – парамагнітна складова питомої сприйнятливості аустеніту зразка,

χ_p – парапроцесна складова питомої сприйнятливості α -фази зразка.

Позначимо результуючу питому магнітну сприйнятливість парапроцесу й аустенітного середовища зразка через χ_∞ :

$$\chi_\infty = \chi_0 + \chi_p \quad (1.4)$$

З формули (1.3) для питомої магнітної сприйнятливості зразка маємо:

$$\chi = \frac{\sigma_m}{H} + \chi_\infty \quad (1.5)$$

Кількість феромагнітної α -фази в об'ємних відсотках визначали за формулою:

$$P_\alpha = \frac{\sigma_m}{\sigma_\alpha} \cdot 100 = \frac{[\chi - (\chi_0 + \chi_p)] \cdot H}{\sigma_\alpha} \cdot 100\% = \frac{[\chi - \chi_\infty] \cdot H}{\sigma_\alpha} \cdot 100\% \quad (1.6)$$

де σ_m – феромагнітна складова питомої намагніченості насичення зразка, який містить α -фазу у кількості x % ((А·м²)/кг);

σ_α – питома намагніченість насичення зразка, який містить α -фазу в кількості 100 % ((А·м²)/кг);

χ – загальна питома магнітна сприйнятливість зразка;

χ_0 і χ_p – парамагнітна і парапроцесна складові питомої сприйнятливості аустеніту і α -фази зразка;

$\chi_\infty = \chi_0 + \chi_p$ – результуюча питома магнітна сприйнятливість (χ_0 – парамагнітна сприйнятливість аустеніту зразка,

χ_p – сприйнятливість парапроцесу α -фази зразка);

H – напруженість магнітного поля.

Величину χ в області полів насичення визначають експериментально на магнітометричних терезах. За експериментальними лінійними залежностями $\chi(1/H)$ методом екстраполяції ($H \rightarrow \infty$, $1/H \rightarrow 0$) визначають χ_∞ і за вказаною вище формулою – кількість феромагнітної фази в об'ємних відсотках. Для визначення питомої намагніченості σ_α феромагнітної α -фази використовують формули С.Д. Ентіна, О.П. Гуляєва і І.Б. Черненко.

Питому магнітну сприйнятливість аустеніту χ_0 , або питому намагніченість σ_0 аустеніту визначали з графічної залежності $\chi=f(P_\alpha)$, або $\sigma=f(P_\alpha)$ при екстраполяції $P_\alpha \rightarrow 0$. Якщо вираз (1.6) привести до вигляду

$$\chi = \frac{P_\alpha \sigma_\alpha}{H} + \chi_0 + \chi_p, \quad (1.7)$$

то формула (1.7) при $P_\alpha \rightarrow 0$ ($\chi_p = 0$) для постійного H набуває вигляду $\chi = \chi_0$.

Значення χ_0 можна також знайти за графічними залежностями $\chi(P_\alpha)$. При продовженні прямих до перетину з віссю ординат ($P_\alpha \rightarrow 0$, $\chi_p \rightarrow 0$), одержано числове значення питомої магнітної сприйнятливості χ_0 . Нахил прямих обумовлений пропорційною залежністю загальної питомої сприйнятливості χ від кількості феритної складової P_α . При цьому рівняння (1.7) набуває вигляду:

$$\chi = \frac{P_\alpha \cdot \sigma_\alpha}{H} + \chi_\infty. \quad (1.8)$$

1.2 Магнітометричне обладнання типу терезів Фарадея

Існує достатньо велика кількість методів вимірювання магнітних властивостей слабомагнітних сталей та сплавів, кожен з яких має низку переваг і недоліків [3-5]. Для вимірювання магнітної сприйнятливості широко використовують метод Фарадея [1, 4]. Досліджуваний зразок при цьому розміщують в зону постійного градієнта магнітного поля і вимірюють силу, яка діє на зразок. Найчастіше для вимірювання сили використовують маятникові магнітні терези, в яких зразок при його взаємодії з градієнтним магнітним полем електромагніту переміщується в горизонтальному напрямку. Особливістю установок є спосіб реєстрації відхилення від нульового положення зразка, наприклад, магнітометричні терези з уніполярно-астатичною системою і механіко-магнітним зачепленням призми або з фотоелектричною реєстрацією нульового положення. Зміна величини магнітного поля, що діє на зразок, реєстрація нульового положення (електромагнітна компенсація) здійснюються вручну або автоматизованою системою управління експериментом з реєстрацією вимірювань в електронному вигляді.

Установка представлена магнітометричними терезами з уніполярно-астатичною системою і механіко-магнітним зачепленням призми (рис. 1.1). Магнітометрична установка містить: кварцовий стержень 1, підвішений на біфілярі 2, уніполярний магнетик 3 з лезом 4, дзеркало 5, ампулу 6 для розміщення еталонного і досліджуваних зразків сталі; демпфера 7, компенсаційну котушку 8 з магнітиком 9,

шкали 10 з освітлювачем 11, підвісу 12. Уніполярний магнетик 3 є однополюсний магнітик, що представляє собою два магнітних паралелепіпеда, які з'єднані однаковими полюсами з метою уникнення впливу зовнішніх магнітних полів.

Спосіб дії установки: ампула 6 зі зразком масою $m_{зр}$ розміщується в постійному градієнтному магнітному полі. Під дією магнітного поля H ампула 6 зі зразком зміщується. Поступальний рух стрижня 1 через магнітне зчеплення леза 4 з магнітиком 3 переходить в обертальний рух підвісу 12, на якому розташоване дзеркало 5. Від освітлювача 11 падає промінь світла на дзеркало 5, від якого відбивається на шкалу 10. Для повернення світлового променя на шкалі в нульове положення використовують компенсаційну котушку 8, в якій знаходиться магнітик 9, прикріплений до стрижня 1. При цьому вимірюється величина компенсаційного струму $I_{зр}$, який подається на компенсаційну котушку 8.

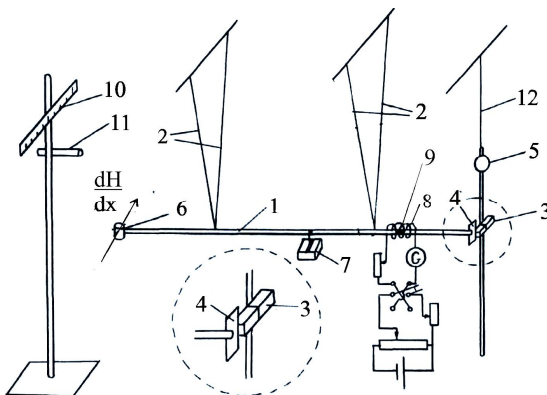


Рисунок 1.1 – Магнітометрична установка для визначення парамагнітної питомої магнітної сприйнятливості [13]

Питому магнітну сприйнятливість визначали відносним методом за формулою:

$$\chi = \frac{I_{зр} \cdot m_{ет}}{I_{ет} \cdot m_{зр}} \chi_{em}, \quad (1.9)$$

де $I_{зр}$ і $I_{ет}$ – відповідно компенсаційні струми для зразка і еталону,

$m_{зр}$ і $m_{ет}$ – відповідно маса зразка і еталону,

$\chi_{ет}$ – магнітна сприйнятливість еталону.

При вимірах χ досліджуваних зразків враховувалась поправка на компенсаційний струм пустої ампулки (і кінця стрижня), а саме

$$I_{зр} = I'_{зр} \pm I_{амп}, I_{ет} = I'_{ет} \pm I_{амп}, \quad (1.10)$$

де $I'_{зр}$ і $I'_{ет}$ відповідно сумарні компенсаційні струми зразка і еталону; знак “+” чи “-” обирається залежно від матеріалу ампулки (діамагнетик чи парамагнетик).

Для градування магнітометричної установки обрано стандартну речовину – сіль Мора ($Fe_2SO_4(NH_4)_2 \cdot 6H_2O$), для якої відома питома магнітна сприйнятливість. так для $T = 293$ К $\chi_{ет} = 3,23 \cdot 10^{-8}$ м³/кг.

1.3 Автоматизована магнітометрична установка

Автоматизації підлягали спосіб реєстрації величини відхилення від нульового положення зразка, керування струмом компенсації та величиною магнітного поля діючого на зразок. Визначення зміщення стрижня виконується безконтактно – на основі зміни частоти LC-генератора 5 (рис. 1.2). Роль датчика зміщення зразка виконує осердя 3 котушки індуктивності 4, яке закріплене на рухомому стрижні 1. Виконавчий пристрій здійснює поступову зміну силового магнітного поля, залежно від зміни частоти, яка відповідає зміщенню стрижня від положення рівноваги та подає сигнал «компенсації зміщення» на компенсаційну котушку 8.

Функціональна блок-схема автоматизованої установки для вимірювання магнітної сприйнятливості наведено на рис. 1.3.

Основою установки є мікропроцесорна система (МПС), що базується на восьмирозрядних мікроконтролерах AVR фірми ATMEL, яка забезпечує автоматичну зміну струму обмотки силового магніту, підбір струму обмотки котушки для компенсації зміщення зразка від положення рівноваги та передачу цих значень на комп'ютер. Силовий електромагніт дозволяє створювати в щілині для зразків напруженість магнітного поля до 10^6 А/м. Величина струму силового магніту задається МПС (за допомогою 12-бітного цифрового коду). Точність

задання струму $\pm 0,024\%$, що складає $\pm 4,8$ мА для максимального струму 20 А.

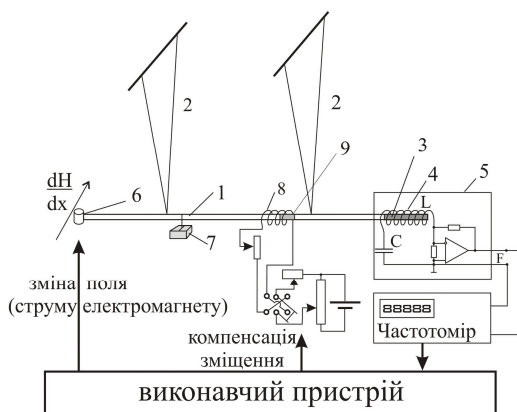


Рисунок 1.2 – Автоматизована магнітометрична установка [6]

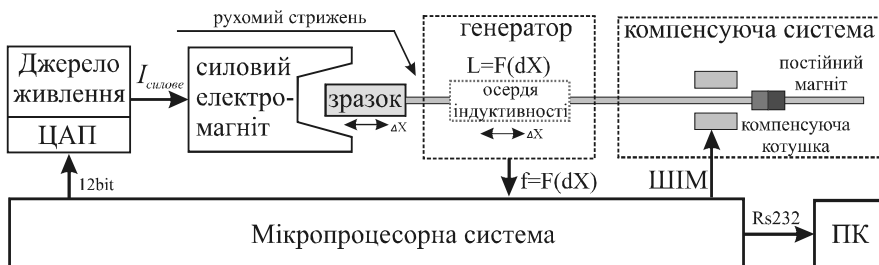


Рисунок 1.3 – Функціональна блок-схема установки для автоматичного управління процесом вимірювання магнітної сприйнятливості

Алгоритм роботи установки наведено на рис. 1.4. На початку роботи МПС виконує ініціалізацію початкового стану, а саме встановлює струми силового електромагніта і компенсуючої котушки на нульовому рівні заданням цифрового коду $DAC = \langle 0 \rangle$ для ЦАП та сигналу $PWM = 0$ для компенсуючої котушки.

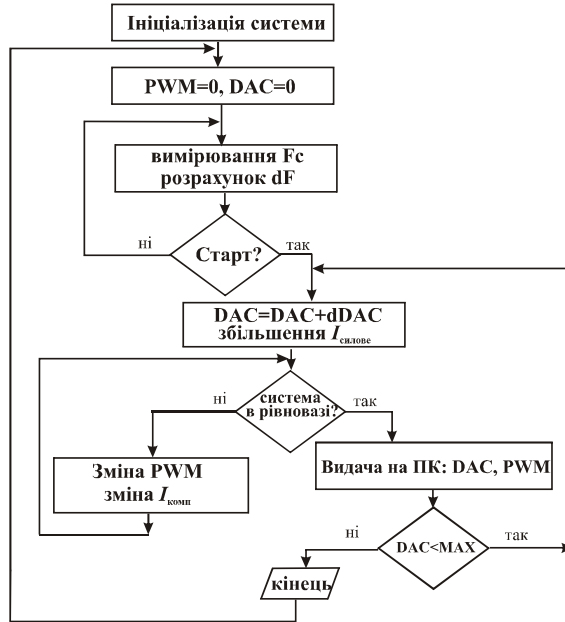
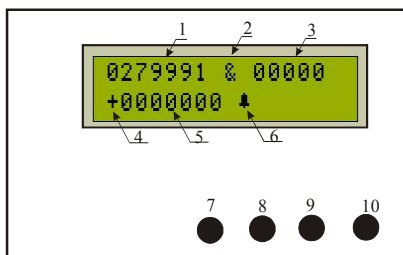


Рисунок 1.4 – Алгоритм роботи мікропроцесорної системи

Інтерфейс користувача наведено на рис. 1.5. На початковому етапі експерименту установка розпочинає збільшувати струм силового електромагніту поступовою зміною цифрового коду для ЦАП. Під дією магнітного поля зразок, залежно від його магнітних властивостей, втягується або виштовхується із зазору магніту. На першому кроці зміни струму $I_{\text{силове}}$ система визначає полярність напруги на компенсуючій котушці. При частоті генератора 300 кГц чутливість датчика складає ~ 250 Гц/мкм. Залежно від величини та знаку зміни поточної частоти генератора F_c від зразкової частоти, яка відповідає нульовому положенню, МПС формує сигнал для встановлення необхідної полярності напруги та широтно-імпульсний сигнал ШІМ (8 кГц) для задання величини компенсуючої напруги в котушці. При досяганні положення рівноваги зразка, МПС виконує послідовну передачу даних на комп'ютер для запису даних у текстовий файл.

Далі МПС збільшує поточне значення струму $I_{\text{силове}}$ через збільшення сигналу DAC, і увесь процес повторюється. Після

досягнення максимального заданого струму $I_{\text{силове}}$ система переходить у початковий стан через плавну зміну струму до нуля. МПС передає дані на ПК через систему узгодження рівнів сигналів, виконану на перетворювачі фірми МАХІМ. Для системи компенсації розроблена модель генератора квазі-ШІМ сигналів, яка перетворює ШІМ-сигнал в амплітудно-модульований сигнал.



- 1 – значення поточної частоти генератора (F_c); 2 – розділювач; 3 – значення сигналу ШІМ (від 0 до 2000); 4 – знак «+» або «-», який означає напрямок зрушення; 5 – значення різниці частот ($F_c - F_m$); 6 – символ початку роботи; 7 – кнопка «Старт/Стоп/Плюс»; 8 – кнопка «ОК»; 9 – кнопка «Пам'ять/Мінус»; 10 – кнопка «Налаштування».

Рисунок 1.5 – Інтерфейс користувача

Розроблена установка дозволяє автоматично отримувати залежність струму компенсації зміщення зразка від струму силового магніту у вигляді файлу на комп'ютері. Час отримання сукупності експериментальних даних залежить від кількості точок, діапазону вимірювання і складає 5...10 секунд на одне вимірювання. Температурний модуль забезпечує автоматичну зміну (в режимі лінійного нагрівання, 1...20 К/хв.) або підтримку заданої температури (± 0.1 К). При досягненні заданої температури мікропроцесорна система автоматично виконує посилку даних на комп'ютер.

1.4 Приклад розрахунку та визначення питомої магнітної сприйнятливості на підставі експериментальних даних

Наприклад, для сталі 140ХГ7 еталонний зразок мав масу $m_{зр} = 147.9$ мг. Під дією магнітного поля $H = 2.55 \cdot 10^5$ А/м він

змістився і для його повернення у вихідне положення був прикладений компенсаційний струм $i_{zp}=9.4$ мА. Для знаходження парамагнітної питомої магнітної сприйнятливості χ_0 еталонного зразка використовували відоме для солі Мора табличне значення магнітної сприйнятливості $\chi_m=3.2 \cdot 10^{-8}$ м³/кг.

Для солі Мора масою $m_m=65$ мг компенсаційний струм становив $i_m=3.78$ мА. Відносна похибка вимірювань складала $2 \div 3\%$.

Використовуючи наступні вирази для еталонного зразка сталі 140ХГ7 і солі Мора: $i_{zp} = m_{zp} \cdot \chi_0 \cdot H \frac{dH}{dx}$, $i_m = m_m \cdot \chi_m \cdot H \frac{dH}{dx}$, отримаємо формулу для розрахунку парамагнітної питомої магнітної сприйнятливості χ_0 сталі 140ХГ7:

$$\chi_0 = \frac{i_{zp}}{i_m} \cdot \frac{m_m}{m_{zp}} \cdot \chi_m = \frac{9.4}{3.78} \cdot \frac{65.0}{147.9} \cdot 3.2 \cdot 10^{-8} \left(\frac{mA}{mA} \cdot \frac{mг}{mг} \cdot \frac{m^3}{кг} \right) = 3.5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Відносна похибка вимірювань питомої магнітної сприйнятливості складала $2 \div 3\%$. Тому, питома магнітна сприйнятливість сталі 140ХГ7 $\chi = (3,497 \pm 0,087) \cdot 10^{-8}$ м³/кг.

1.5 Порядок проведення лабораторної роботи

1. Виміряти геометричні розміри і масу досліджуваного зразка конструкційної аустенітної сталі.

2. Встановити зразок в кварцову ампулу і помістити її між полюсами електромагніту.

3. Змінюючи величину вбрані магнітного поля в межах $H=(1,16 \dots 6,17) \cdot 10^5$ А/м виміряти струм компенсації (10-12 вимірів).

4. Виконати розрахунок для визначення питомої магнітної сприйнятливості.

5. Побудувати експериментальну залежність $\chi(1/H)$. У випадку відсутності нахилу (наприклад, рис. 1.6, пряма 3), зафіксувати питому парамагнітну сприйнятливість χ_0 аустеніту.

6. У випадку наявності нахилу, що свідчить о наявності феромагнітної α -фази (наприклад, рис. 1.6, прямі 1 і 2) з

експериментальної залежності $\chi(1/H)$ екстраполяцією знайти χ_∞ і за формулою (1.7) визначити кількість P_c .

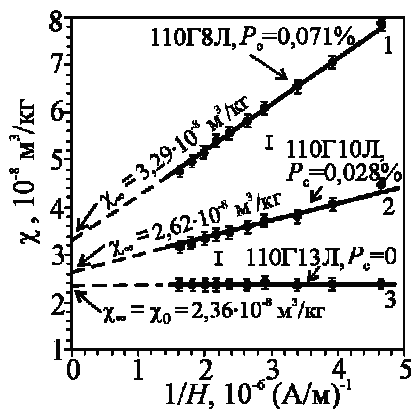


Рисунок 1.6 – Залежність питомої магнітної сприйнятливості χ досліджуваних сталей (до деформації) 110Г8Л, 110Г10Л, 110Г13Л від оберненої напруженості магнітного поля H

7. Зробити висновок такого зміста (на прикладі рис .1.6).

Наявність феромагнітних карбідів у початковому стані сталей 110Г8Л і 110Г10Л підтверджується нахилом прямих експериментальних залежностей питомої магнітної сприйнятливості χ від оберненої величини магнітного поля H (рис. 1.6, прямі 1 і 2). Екстраполюючи ($H \rightarrow \infty$) ці прямі на вісь χ , знаходили значення χ_∞ і визначали кількість феромагнітних карбідів заліза (Fe_3C). Сталі 110Г8Л і 110Г10Л містили кількість карбідів 0,071 % і 0,028 %. У сталі 110Г13Л феромагнітних карбідів незафіксовано ($P_c = 0$). Сталь 110Г13Л була повністю аустенізована, що підтверджується горизонтальною лінією $\chi(1/H)$ (рис. 1.6, пряма 3). Для цієї сталі питома магнітна сприйнятливість парамагнітного аустеніту: $\chi_0 = 2,36 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$.

1.6 Зміст звіту

1. Коротке викладання основних положень теорії та експериментального обладнання. Описання методики вимірювання

намагніченості і схем установки та її описання.

2. Заповнена таблиця з експериментальними даними: зовнішнє магнітне поле, струм компенсації.

3. Розрахунок питомої магнітної сприйнятливості. Побудований графік залежності $\chi(1/H)$.

4. Розрахунок кількості феромагнітної α -фази.

5. Використовуючи Додатки Б і В зробити висновок про якість механічних та корозійних властивостей досліджуваних сталей

6. Відповіді на контрольні запитання.

1.7 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю

1. Визначення питомої парамагнітної сприйнятливості: сталі χ , аустеніту χ_0 .

2. Формула для визначення кількості феромагнітної α -фази в об'ємних відсотках.

3. Яким чином можливо визначити результуючу питому магнітну сприйнятливість χ_∞ .

4. Магнітометричне обладнання типу терезів Фарадея. В чому полягає принцип «нульового відхилення».

5. Навіщо використання еталонів зразків при визначенні χ .

6. Які переваги автоматизації вимірювань χ .

7. Про що свідчить горизонтальна лінія залежності $\chi(1/H)$?

8. Про що свідчить наявність нахилу залежності $\chi(1/H)$?

9. Яким чином використовуючи інформацію о магнітном стані аустеніту можливо отримати відомості про механічні та корозійні властивості аустенітних конструкційних сталей?

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 “ВИЗНАЧЕННЯ ЧИСЛА МАГНЕТОНІВ БОРА НА АТОМ В АУСТЕНІТНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЯХ”

Мета роботи – освоїти вимірювання температурної залежності питомої парамагнітної сприйнятливості χ та визначити – константу Кюрі (C); ефективне число магнетонів Бора на атом (μ_{ef}).

Матеріали, обладнання: магнітометричне обладнання типу терезів Фарадея, температурний модуль: піч, регулятор температури, мікрошаговий двигун для завдання лінійного нагрівання (охолодження) з постійною швидкістю. Зразки аустенітної сталі промислового виробництва 08X15H25M4 з високим вмістом нікелю. Хімічний склад (% мас.): 0,09 C; 15,19 Cr; 25,2 Ni; 1,52 Mn; 0,48 Si; 0,05 Nb; 0,01 Ti; 4,7 Mo; 0,21 Cu; 0,26 P; 0,003 S; 0,125 N.

2.1 Короткі теоретичні відомості

Основною структурної складової хромонікелевих сталей типу 18-8 є аустеніт, який залежно від хімічного складу, температурних і деформаційних впливів можна умовно розділити на нестабільний, менш стабільний (метастабільний) і стабільний [5, 7-9]. Аналіз досліджень показує, що стабільність (нестабільність) є поняття умовне і на сьогодні немає чіткої відповіді на питання: як виявити границю, тобто однозначну температурну точку переходу від стабільного до нестабільного аустеніту залежно від початкового стану матеріалу (після гартування, пластичної деформації та ін.). Сталь промислового виробництва 08X15H25M4 застосовується для виготовлення зварювальних електродів, тобто у вигляді дроту діаметром 4 мм. Зразки сталі піддавали деформації крутінням на приладі КМ-50. Стержні з робочою довжиною 150 мм з кільцевим концентратором посередині шириною 0,25 мм і глибиною 1мм під впливом моменту сили 80 Н·м руйнувалися після 5 обертів. Після аустенізації сталі (1050 °С) вирізали зразки у вигляді циліндрів висотою 3 мм. Нагрівання та охолодження зразків проводили зі швидкістю ~10 К/хв. в середовищі аргону. Питому магнітну сприйнятливість вимірювали в магнітному полі $H = 2,95 \cdot 10^5$ А/м на установці (див. лаб. роботу 1). На рис. 2.1 наведено криву розподілу парамагнітної сприйнятливості χ_0

зразків, деформованих крутінням, парамагнітного аустеніту за довжиною стержня. Зразок №1 відповідає зоні руйнування.

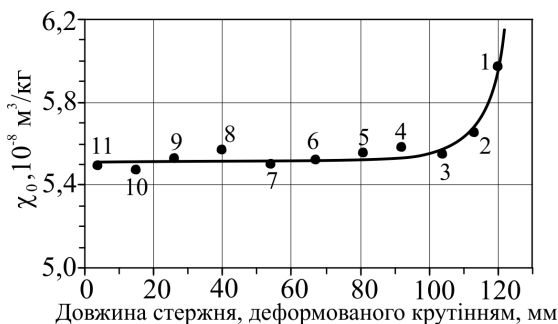


Рисунок 2.1 – Розподіл питомої парамагнітної сприйнятливості парамагнітного аустеніту сталі 08X15H25M4 за довжиною стержня після деформації крутінням (цифрами вказані номери вирізаних зразків)

Температурні залежності описуються законом Кюрі-Вейса в певних температурних інтервалах, в яких спостерігаються лінійні залежності:

$$\chi_0 = \frac{C}{T - \theta} = \frac{1}{3} \cdot \frac{\mu_0 \cdot N_A \cdot \mu_{ef}^2 \cdot p_B^2}{4\pi \cdot \mu \cdot K_B \cdot (T - \theta)} \quad (\text{система СИ}), \quad (2.1)$$

$$C = \frac{1}{3} \cdot \frac{\mu_0 \cdot N_A \cdot \mu_{ef}^2 \cdot p_B^2}{4\pi \cdot \mu \cdot K_B}, \quad (2.2)$$

де χ_0 – питома парамагнітна сприйнятливість аустеніту;

μ – молярна маса;

K_B – стала Больцмана;

C – константа Кюрі;

N_A – число Авогадро;

μ_0 – магнітна стала;

p_B – магнетон Бора;

μ_{ef} – ефективне число магнетонів Бора на атом;

θ – парамагнітна точка Кюрі, яка визначається екстраполяцією лінійної ділянки залежності $1/\chi(T)$ на вісь температур.

Характер обмінної взаємодії між магнітними атомами пояснюється залежністю питомої магнітної сприйнятливості від

температури. Зокрема аналізується залежність χ_0 від T для ГЦК систем з різними видами обмінного взаємодії між магнітними атомами: феромагнітного, антиферомагнітного, співіснуванням ближнього феромагнітного і далекого антиферомагнітного, співіснуванням ближнього антиферомагнітного і дальнього феромагнітного взаємодії між атомами. Криві залежності $\frac{C}{\chi_0 \cdot T}$ від $\frac{1}{T}$ більш чутливі до виду обмінної взаємодії ніж залежності $\frac{1}{\chi_0}(T)$.

2.2 Порядок проведення лабораторної роботи

1. Виміряти геометричні розміри і масу досліджуваного зразка конструкційної аустенітної сталі.

2. Встановити зразок в кварцову ампулу і помістити її між полюсами електромагніту.

3. Визначити питому магнітну сприйнятливість методом, описаним в лабораторній роботі №1. Нагрівання і охолодження зразків провести в середовищі аргону. Питому магнітну сприйнятливість при нагріванні і охолодженні виміряти в магнітному полі $H=2.95 \cdot 10^5$ А/м.

4. Побудувати експериментальні залежності $\chi_0(T)$, $1/\chi_0=f(T)$.

5. Константу C визначати з формули (2.1). Ефективний магнітний момент μ_{ef} обчислювати з константи C за формулою (2.2).

2.3 Зміст звіту

1. Коротке викладання основних положень теорії та експериментального обладнання.

2. Описання методики вимірювання намагніченості і схем установки та її описання.

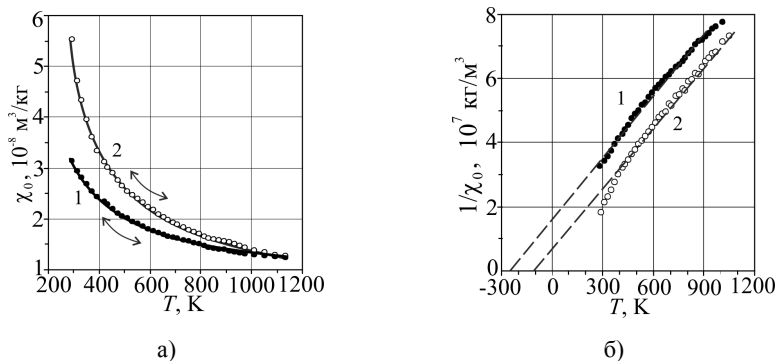
3. Надати опис передумов в такому контексті:

Для досліджуваних деформованих зразків 3...11 (рис. 2.1) нахил кривих залежності $\chi(1/H)$ не спостерігався, що підтверджує відсутність виникнення α' -мартенситу. А в районі руйнування (зразок 1) виявлено наявність α' -мартенситу. Питома парамагнітна сприйнятливості сталі у початковому (недеформованому) стані дорівнює $3,14 \cdot 10^{-8}$ м³/кг, деформованих зразків 3...11 крутінням за

довжиною – $5,52 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Для зразка, вирізаного в точці 1 руйнування: $\chi_0 = 5,97 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$.

Величина питомої парамагнітної сприйнятливості деформованих зразків (зона руйнування) збільшилася, порівняно з початковою на $\sim 75\%$, а в точці руйнування – на $\sim 90\%$.

4. Заповнена таблиця з експериментальними даними $\chi_0(T)$. Побудовані графіки залежностей $\chi_0(T)$, $1/\chi_0=f(T)$. Як приклад на рис. 2.2 представлені типові експериментальні температурні залежності питомої магнітної сприйнятливості аустеніту сталі до (крива 1) і після (крива 2) пластичної деформації крутінням.



крива 1 – до; крива 2 – після пластичної деформації крутінням.

Рисунок 2.2 – Температурна залежність питомої парамагнітної сприйнятливості χ_0 (а) і оберненої питомої магнітної сприйнятливості $1/\chi_0$ (б) аустеніту сталі 08X15H25M4

5. Отримані експериментальні та розрахункові результати занести в таблицю 2.1 (замість знаку «?»).

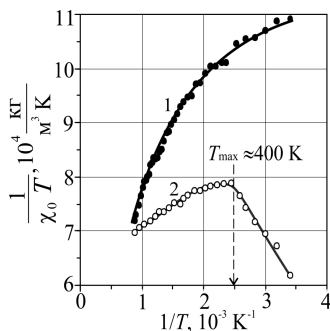
Таблиця 2.1 – Магнітні параметри сталі 08X15H25M4

Магнітний параметр	Недеформований аустеніт	Деформований аустеніт
$\chi_0, 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$	3,14	5,52
$C, 10^{-8} (\text{м}^3 \text{К})/\text{кг}$?	?
$\theta, \text{ К}$?	?
μ_{eff}	?	?

Зробити висновок. Як приклад: аналіз результатів показує, що

температура і пластична деформація приводять до зміни числа магнетонів Бора на атом, отже до зміни питомої магнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту. Зміна χ_0 з температурою має зворотний характер. Це підтверджує те, що збільшення χ_0 при охолодженні пов'язане зі зміною магнітного стану аустеніту.

6. Побудувати залежність $\frac{1}{\chi_0 \cdot T} \left(\frac{1}{T} \right)$ аустеніту сталі 08X15H25M4. На рис. 2.3 наведені залежності для недеформованого (крива 1) і деформованого (крива 2) аустеніту досліджуваної сталі.



1 – до деформації; 2 – після деформації

Рисунок 2.3 – Залежність $\frac{1}{\chi_0 \cdot T} \left(\frac{1}{T} \right)$ аустеніту сталі 08X15H25M4

Зробити висновок. Як приклад: Для недеформованого аустеніту залежність $\frac{1}{\chi_0}$ від T , яка має лінійний характер для всього температурного інтервалу (300...1100 К) (див. рис. 2.2 б, крива 1), задовільно описується законом Кюрі-Вейса. Для деформованого аустеніту (крива 2) при високих температурах, починаючи приблизно з 400 К (точка перегину) і вище, зазначена залежність також лінійна і підкоряється закону Кюрі-Вейса. Нижче 400 К ця залежність не описується законом Кюрі-Вейса.. Для деформованого аустеніту при температурах 400...1100 К нахил кривої 2 (ліва частина) є позитивним (див. рис. 2.3). Це означає, що при цих температурах переважним видом обмінної взаємодії між магнітними атомами є від'ємним (антиферомагнітним). При температурах нижче 400 К

нахил кривої 2 (права частина) стає негативним. Це свідчить про те, що магнітний стан аустеніту деформованої сталі нижче 400 К описується переважаючою позитивною обмінною взаємодією між атомами. При зниженні температури від 400 К (див. рис. 2.3, крива 2, права частина) позитивна обмінна взаємодія приводить до утворення малих однодомених феромагнітних впорядкованих областей – кластерів, які при подальшому зниженні температури можуть перерости в кристали α -фази. На підставі вищевикладеного можна припустити, що точка перегину ($T_{\max} = 400$ К) є границею переходу стану від парамагнітного (100 %) аустеніту до аустеніту, в якому зі зниженням температури підвищуються передумови зародження α' -мартенситу. Отже, ця границя розділяє переважну роль обмінної антиферомагнітної і феромагнітної взаємодій між магнітними атомами. Ця гранична температура розділяє на стабільний і нестабільний стани аустеніту. Звідси випливає, що початковий (недеформований) аустеніт досліджуваної сталі є повністю (100 %) стабільним в інтервалі температур 300...1100 К, а деформований – стабільним вище границі (400 К), тобто в інтервалі 400...1000 К, а нижче 400 К – нестабільним.

7. Надати відповіді на контрольні запитання.

2.4 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю

1. Які фактори впливають на стабільність аустеніту? Де застосовується високонікелева сталь 08X15H25M4. Які елементи входять до її складу?

2. Навіщо нагрівання та охолодження зразків проводити в середовищі аргону?

3. Як змінюється величина питомої парамагнітної сприйнятливості деформованих зразків (зона руйнування)?

4. Яким чином можна визначати константу Кюрі C ; ефективне число магнетонів Бора на атом μ_{ef} ?

5. Чи приводять температура і пластична деформація до зміни числа магнетонів Бора на атом, а також до зміни питомої магнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту? В чому це виражається?

6. До яких фазових перетворень схилен аустеніт у нестабільному стані?

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 “ВИЗНАЧЕННЯ НАМАГНІЧЕНОСТІ НАСИЧЕННЯ І КІЛЬКОСТІ ЗАЛИШКОВОГО АУСТЕНИТУ БАЛІСТИЧНИМ МЕТОДОМ”

Мета роботи – освоїти вимірювання намагніченості на установці Штеблейна. Виявити залежність намагніченості насичення від температури гартування. Визначити кількість парамагнітної фази ($A_{\text{зал.}}$) в загартованих зразках заевтектоїдної сталі.

Матеріали, обладнання: Установка Штеблейна; набір зразків загартованих від різних температур (800, 900, 1000, 1100 °C), а також загартованого від температури 900 °C та відпущеного при температурі 250 °C (1 год.).

3.1 Короткі теоретичні відомості

Відомо, що число магнітних силових ліній, що проходять крізь площу в 1 см^2 рівномірно намагніченого тіла зразка дорівнює $4\pi I$. Ця величина може збільшуватись для кожного матеріалу лише до певної межі - $4\pi I_s$. Тут I_s є намагніченість насичення. Величина $4\pi I$, досягає для кожного матеріалу в певному полі намагнічення, так званому полі насичення H_s .

В загальному випадку при будь-якому значенні напруженості магнітного поля намагніченість гетерогенної системи описується правилом адитивного складання $I = \sum \frac{P_i}{100} I_i$, де P_i - об'ємна частка, в процентах, i -тої фази, I_i - її намагніченість.

Але якщо при вибраному значенні поля не досягається магнітне насичення системи, то її намагніченість залежить від фазового складу по криволінійному, а не лінійному, закону. В зв'язку з цим її залежність від фазового складу ускладнюється. Вона до того ж буде ще залежати від попередньої історії зразка.

Феромагнітні частинки, розділені парамагнітною фазою утворюють внутрішнє розмагнічуюче поле, величина котрого залежить від форми і розмірів цих частинок (розмагнічуючого фактору), їх кількості і розподілу. Треба пам'ятати, що тільки в полі

насичення існує лінійна залежність між величиною $4\pi I_s$ і об'ємною часткою фаз в зразку. Чим більше в зразку феромагнітної фази, тим більше величина її намагніченості насичення.

Поле насичення тим більше, чим більше внутрішнє розмагнічуюче поле. Якщо кількість парамагнітної фази (наприклад, $A_{\text{зал.}}$ в мартенситі загартованої сталі) не перевершує 10...15 %, насичення практично досягає вже в полях 800... 1200 А/см.

Намагніченість насичення фаз визначається їх хімічним складом. Якщо в процесі фазового перетворення змінюється кількість і структура феромагнітної фази (при постійності її хімічного складу і отже намагніченості насичення), то вимірювання намагніченості насичення сплаву дозволяє з певною точністю визначити кількість цієї фази. Якщо в сплаві є декілька феромагнітних фаз та парамагнітна фаза, то визначити точну кількість кожної з цих фаз по намагніченості насичення при 20°C неможливо. Наприклад, в вуглецевій сталі намагніченість насичення збільшується із збільшенням α -фази. Збільшення кількості цементиту (I) приводить до зменшення намагніченості насичення тому, що $4\pi I$ для Ц дорівнює 1,25 Тл, а для α -фази 2,15 Тл. Якби вдалося загартувати сталь повністю на один тільки мартенсит, то її намагніченість насичення була б більша, ніж після всіх інших термообробок, тому що в цьому випадку був би відсутній Ц .

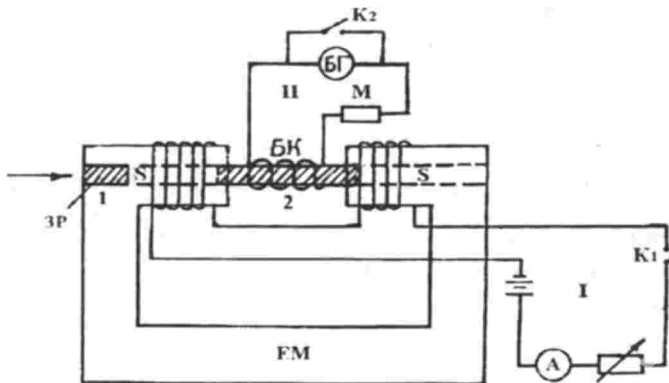
В сплаві з гетерогенною структурою розрахунок кількості феромагнітної (парамагнітної) фази дуже ускладнюється, якщо в процесі фазових перетворень змінюється хімічний склад феромагнітної фази. Тоді розрахунок кількості кожної з фаз можна виконати тільки в випадку, коли для кожного відповідного складу феромагнітної фази відома намагніченість насичення. Тому точне визначення $A_{\text{зал.}}$ або M в загартованій сталі може бути виконано, якщо за еталон приймати зразок, в котрому міститься 100% мартенситу того ж хімічного складу, що і в зразку, який досліджується, тобто з тією ж намагніченістю насичення.

При вивченні вуглецевих і низьколегованих сталей ця умова легко виконується, якщо зразок і еталон загартовані одночасно за однаковими умовами, а потім еталон одразу ж оброблено холодом, щоб перетворити майже весь $A_{\text{зал.}}$ в M . Часто з метою розпаду $A_{\text{зал.}}$ в M в еталоні роблять низькотемпературне відпускання при 250°C. Але при

цьому $M_{\text{гарт}}$ перетворюється в $M_{\text{відп}}$, що приводить до зниження його намагніченості насичення в зв'язку з утворенням низькотемпературного парамагнітного ϵ -карбїду.

Таким чином, основні труднощі при визначенні $4\pi I_s$ гетерогенного сплаву і кількості феромагнітної (парамагнітної) фази пов'язані в точному знанні $4\pi I_s$ еталону, в зв'язку з тим, що в ньому крім M завжди міститься декотра кількість $A_{\text{зал}}$ (навіть після обробки холодом) або з'являється ϵ -карбїд після низькотемпературного відпускання, який проводиться з метою розпаду $A_{\text{зал}}$.

Найбільш простіш методом визначення намагніченості насичення є метод Штеблеяна. В міжполюсному просторі електромагніту (рис. 3.1) утворюється магнітне поле напруженістю не менше як 4000 А/см, яке достатнє дія того, щоб зразок, який випробується, при розташуванні в цьому полі намагнітився до насичення. За допомогою реостата, ввімкнутого в ланцюг намагнічування I , є можливість змінювати величину електричного струму, який проходить через обмотку електромагніту та напруженість магнітного поля.



ЕМ – елеїтромагніт; ЗР – зразок; I – ланцюг намагнічування; П – ланцюг вимірювання;
 А - амперметр; K_1 , K_2 – вмикачі; БК – балістична котушка; М – магазин опорів;
 БГ – балістичний гальванометр; 1, 2 – початкове і кінцеве положення зразка

Рисунок 3.1 – Принципова схема установки для визначення намагніченості насичення

В канал електромагніту вставлена трубка з неферромагнітного матеріалу, зовнішній діаметр котрої близький до розміру внутрішнього діаметра каналів в полюсах електромагніту. На центральну частину трубки намотана балістична обмотка БК, яка підключена до балістичного гальваночієтра. В обмотку електромагніта подають струм, достатній для намагнічування зразка ЗР до насичення. За допомогою спеціального утримувача зразок проштовхують по каналу магнітопроводу в міжполюсний простір електромагніту (з метою усунення коливання світлового «зайчика» балістичного гальванометра ключ К2 при цьому повинен бути замкнутим). При цьому положенні зразок збігається з серединою точки міжполюсного простору й з серединою балістичної обмотки. В цей час зразок намагнічується до насичення. В момент зривання зразка із міжполюсного простору при розімкненому положенні ключа К2 його магнітні силові лінії перетинають обхоплюючі витки балістичної катушки БК. При цьому в балістичному' вимірювальному ланцюгу' виникає ЕРС і через балістичний гальванометр БГ проходить певна кількість електрики, яка залежить від магнітного потоку' зразка, числа витків в балістичній котушці і опору електричного ланцюга. Особливістю цього методу визначення $4\pi I_s$ є те, що магнітний потік, який вимірюється, зумовлений намагніченістю насичення зразка, а не його індукцією B , яка є сумою $(4\pi I_s + H)$. В цьому' випадку поле H не впливає на показники гальванометра, тому що воно в процесі вимірювання залишається постійним. Тому відхилення стрілки гальванометра зумовлене тільки зміною магнітного потоку' зразка, який залежить від його намагнічування, тобто величини $4\pi I_s$. В зв'язку з цим кількість електрики, яка проходить через балістичний гальванометр, буде тим більше, чим більше величина магнітного насичення зразка. По відхиленню світлового «зайчика», яке відбувається при проштовхуванні зразка через балістичну обмотку, підраховується його намагніченість насичення за формулою:

$$4\pi I_s = \frac{Cb \cdot R \cdot \alpha}{n \cdot S} 10^{-2} \text{ [Тл]} \quad (3.1)$$

де Cb – балістична постійна, яка залежить від кількості електрики (мкК), що проходить через обмотку гальванометра, і яка визиває відхилення на 1 см світлового «зайчика» по шкалі;

R – опір в балістичному ланцюгу (Ом), що складається із опору балістичної котушки, опору магазину M і внутрішнього опору гальванометра;

α – відхилення «зайчика» по шкалі, см;

S – площа поперечного перетину, см²,

n – число витків в балістичній котушці.

З формули (3.1) видно, що для обчислення намагніченості насичення необхідно знати балістичну постійну гальванометра Cb , що пов'язано з проведенням додаткових вимірювань. Простіше розрахувати $4\pi I_s$, зразка, використовуючи еталон з точно відомою величиною його магнітного насичення. Як еталон в даній роботі використано зразок із сталі У12 після повного гартування і низькотемпературного відпускання при температурі 250°C. Тоді при однакових розмірах еталона і зразка, маємо

$$4\pi I_{s_{ЗР}} = 4\pi I_{s_{ЕТ}} \frac{\alpha_{ЗР}}{\alpha_{ЕТ}} \quad (3.2)$$

Приймаємо намагніченість насичення еталона за 100% (складається з однієї феромагнітної фази). Загартований зразок складається із мартенсита (феромагнетика) і аустеніта (парамагнетика) $4\pi I_{s_{ЗР}} = 100 - A\%$. Звідки визначається кількість залишкового аустеніту ($A_{зал}$):

$$100 - A_{зал} = 100 \frac{\alpha_{ЗР}}{\alpha_{ЕТ}} \quad (3.3)$$

$$A_{зал} = \frac{\alpha_{ЕТ} - \alpha_{ЗР}}{\alpha_{ЕТ}} 100\%$$

3.2 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Вивчити основні положення теорії магнетизму, вплив різноманітних факторів на намагнічення насичення, методику визначення намагніченості насичення на установці Штеблейна.

3.4 Зміст звіту

Коротке викладання основних положень теорії магнетизму. Описання методики вимірювання намагніченості і схем установки та її описання. Заповнена табл. 3.1. Побудований графік залежності кількості $A_{\text{зал}}$ від температури гарту вання. Аналіз отриманої залежності.

3.5 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю

1. Фізична сутність намагніченості насичення. Петля гістерезису, основні фізичні параметри феромагнетиків.
2. Принцип адитивності для намагніченості насичення гетерогенних сплавів.
3. Принцип вибору еталона.
4. Сутність балістичного методу визначення намагніченості.
5. Первинна крива намагніченості.
6. Доменна будова феромагнетиків. Розмагнічуючий фактор.

4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

“ВИМІРЮВАННЯ ОПОРУ ТЕРМООБРОБЛЕНИХ СТАЛЕЙ НА ПОДВІЙНОМУ МОСТІ ТОМСОНА”

Мета роботи – освоїти методику визначення малих значень електроопору. Виявити вплив термічної обробки сталі на зміну її електроопору.

Матеріали, обладнання: Подвійний мост Томсона; зразкові опори; зразки для вимірювання опору і визначення питомого опору після гартування від температур 700, 800, 900 та 1000 °С, а також відпущених при 200, 300, 400 та 680 °С; лінійка, штангенциркуль та мікрометр.

4.1 Короткі теоретичні відомості

Основою для виявлення електричних властивостей металів є закон Ома. Важливою фізичною величиною, яка характеризує електричні властивості, є питомий електроопір або обернена йому величина – питома електропровідність.

Електроопір є структурно-чутливою характеристикою і пов'язаний із розсіянням електронів провідності коливаннями іонів кристалічної ґратки. Виникнення сил опору переміщенню електронів пов'язано з порушеннями в кристалічній будові. В строго періодичному полі, тобто в ідеальній кристалічній ґратці, коли іони покояться в її вузлах, електрони переміщалися б прискорено. Але в реальних кристалах завжди існують різні порушення періодичності потенціалу. Ці порушення пов'язані, по-перше, з тепловим коливанням атомів, амплітуда і частота яких збільшується з підвищенням температури. По друге, в самому кристалі є різні дефекти, котрі сприяють підвищенню опору, тому що спотворюють кристалічну ґратку. Це, в першу чергу, вакансії і міжвузельні атоми, зародки інших фаз. якщо вони мають когерентну границю розподілу з основним твердим розчином, з якого виділяються. В меншій мірі сюди можуть бути віднесені дислокації та інші дефекти.

Повний опір, котрий чине тіло електронному потоку, може буги наведено у вигляді трьох складових

$$R=R_T+R_{ат}+R_d \quad (4.1)$$

де R_T – опір, пов'язаний з розсіянням електронної хвилі внаслідок теплових коливань іонів кристалічної ґратки;

$R_{ат}$ і R_d – опір, який виникає внаслідок спотворення кристалічної ґратки, пов'язаний з присутністю вакансій, міжвузельних атомів і атомів іншого сорту в твердому розчині, а також з пружною деформацією в кристалічній ґратці, яка виникає при наклепі.

Виходячи з цього Маттісен виявив, що електроопір слабо концентрованого твердого розчину підчиняється залежності

$$\rho = \rho_t + \rho_R, \quad (4.2)$$

де ρ_t – опір, який характеризує чистий метал і залежить від температури;

ρ_R – опір, який визначається наявністю домішок і який не залежить від температури.

Але при збільшенні концентрації домішок спостерігається відхилення від правила Маттісена і в зв'язку з цим до (4.2) вводиться третій член $\rho = \rho_t + \rho_R + \Delta$, де Δ – складова, що залежить від концентрації і виду домішки і пов'язана з додатковим розсіянням електронів іонами домішок.

У зв'язку з викладеним в цій роботі визначається зміна електроопору зразків із заевтектоїдної сталі У12 в залежності від температури гартування і вплив на нього відпускання. Вимірювання проводиться за допомогою електричних вимірювальних мостів.

Найбільш розповсюдженим методом вимірювання електроопору малої величини є подвійний міст Томсона. Цей метод належить до числа нульових внаслідок чого його точність обмежується точністю підгону вимірювальних опорів моста і чутливістю нульового гальванометра. Подвійний міст Томсона дозволяє вимірювати з великою точністю, крім того, надто малі опори.

Як видно із приведеної схеми (рис. 4.1), зразок X , опір якого визначається, і еталон N із відомим опором вмикаються послідовно один з другим і живленням електричного струму P . Паралельно лінії XN вмикаються ланцюг із змінних опорів R_2 і R_3 . Між ними в точці B підключається одна клемма нульового гальванометра G . Друга клемма

гальванометра приєднується між другою парою опорів R_1 і R_4 (точка D). Ці останні опори утворюють третій паралельний ланцюг один кінець котрого C приєднується до зразка X , а другий E - до еталона N .

Вимірювання опору зразка X зводиться до того, що R_2 і R_3 підбираються такої величини, при котрих стрілка гальванометра знаходиться на нульовій позначці, тобто в цьому випадку потенціали точок B і D однакові ($U_B=U_D$). При цьому електричного струму між точками B і D не буде і по лінії ABF пройде стпум I_2 , а по лінії CDE - струм I_1 . Якщо міст приведення в рівновагу, тобто гальванометр Γ показує нуль то, користуючись позначенням на рис. 2.1, є можливість написати рівняння

$$\begin{aligned} I_x \cdot R_x + I_1 \cdot R_1 - I_2 \cdot R_2 &= 0 \\ I_x \cdot R_N + I_1 \cdot R_4 - I_2 \cdot R_3 &= 0 \\ (I_x - I_1) \cdot R - I_1 \cdot (R_1 + R_4) &= 0 \end{aligned}$$

В цьому випадку $R_x = R_N \cdot (R_2 / R_3)$.

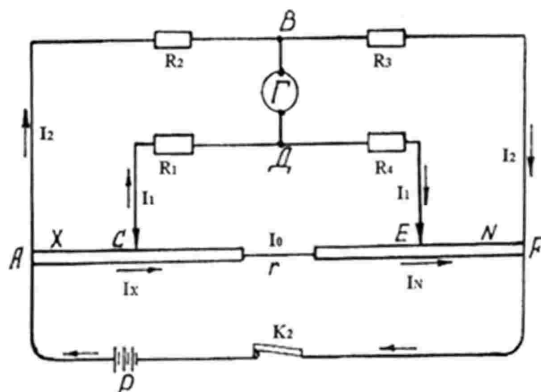


Рисунок 4.1 - Електрична схема подвійного моста Томсона

При такому вимірюванні електроопору необхідно брати R_N по можливості близьким до R_x . Інакше точність вимірювання може знизитись із-зі того, що опори R_2 і R_3 будуть різко від них відрізнятися.

За відомими матеріалом і розмірами зразка можемо приблизно підрахувати R_x , а потім, підібравши потрібний еталон, більш точно його виміряти. Опори R_2 і R_3 порівняно з R_x і R_N повинні бути

великими. При цьому очевидно струми I_1 і I_2 будуть значно менші ніж I_x і I_N . Тому невеликі зміни опору в гілках ABF і CDE не впливають на потенціал в точках B і D і отже на показання гальванометра G . тому що струми I_1 і I_2 малі (як відомо падіння напруги на якій-небудь ділянці ланцюга визначається добутком сили струму на опір IR). Навпаки, на ділянці X невеликі зміни в опорі значно впливають на потенціал в точці C . Зміна потенціалу в точці C порушує весь режим в гілці CDE , а також потенціал в точці D і вплине на показання гальванометра G .

За допомогою подвійного моста можна з великою точністю виміряти малий опір зразка R_x . Необхідно щоб опір r був якомога менше і щоб по можливості зразок X і еталон N були з'єднанні накоротко. Інакше опір в ланцюгу буде збільшуватися, струм знизиться і разом з ним знизиться точність вимірювання, котра забезпечується значно більше за рахунок I_x в порівнянні з I_1 і I_2 . При вимірюванні на подвійному мості електроопору в межах $0,0001...0,001$ Ом можливо мати точність $0,1$ %. Точність визначення питомого електроопору також залежить від точності вимірювання довжини зразка L та поперечного перетину S зразка. Довжину зразка вимірюють з точністю 0.05 мм, а діаметр зразка - з точністю 0.005 мм. При такій точності визначення L та S . точність визначення електроопору буде дещо менше вказаної вище величини і складатиме $0,5... 1,0$ %.

4.2 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Вивчити теоретичні основи впливу різноманітних факторів на електропровідність металів та сплавів, мати уявлення про фізичну сутність електропровідності. її зміну при зміні зовнішніх умов, про електроопір чистих металів, твердих розчинів та гетерогенних сплавів. Вивчити будову і принцип роботи подвійного моста Томсона.

Зарисувати і описати електричну схему подвійного моста Томсона. Підготувати табл. 4.1. 4.2, 4.3.

4.3 Порядок проведення лабораторної роботи

Підключити струмові і потенційні кінці каретки згідно схеми, яка приведена для моста постійного струму МО-62. Калібровані (сині) дроти підключити до контактів П1 і П2. Заміряти діаметр зразка і

підрахувати його площу поперечного перетину S . Замірять робочу довжину L зразка (відстань між контактами каретки). Помітити номер зразка (кількість дротяних кілець) та установити його на каретку. Перемикач плечей відношення N поставити в положення 0,001, а перемикачі ПС і ПП відповідно в положення 4з і «Мережа» (1,5 В або 36 В). Тумблером «Мережа» ввімкнути електроживлення моста, при цьому загориться червона сигнальна лампочка.

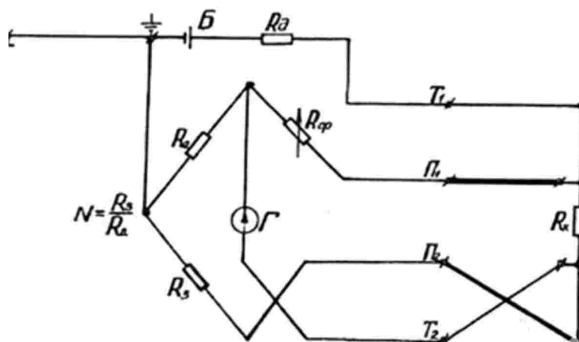


Рисунок 4.2 - Електрична схема простого моста

Порядок вимірювання:

1. Ввімкнути нуль-гальванометр, натиснувши кнопку «Грубо» і слідкувати за відхиленням його стрілки. Підбором курбельних опорів на вимірювальному мості (*100, *10, *1 і ін.), добитися, щоб стрілка гальванометра наблизилась до нуля (стрілка не повинна перейти на другий бік нульової відмітки). Відпустити кнопку «Грубо». Подальший підбір опорів до остаточного установлення стрілки гальванометра в нульове положення проводити короткочасним натискуванням на кнопку «Точно».

2. Полічити по лімбах курбельних опорів дійсний електроопір зразка.

3. Результати вимірювання при схемі одинарного електричного мосту визначаються $R_x = n R_{cp}$, де n – множник, виставлений на перемикачі плеч відношення ($n=0,001$); R_{cp} – електроопір порівняльного плеча, $R_{cp} = (X_1 \cdot 100 + X_2 \cdot 10 + X_3 \cdot 1 + X_4 \cdot 0,1 + X_5 \cdot 0,01)$ Ом. X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 – показники на лімбах перемикачів порівняльних плечей

помножені відповідно на 100, 10, 1, 0.1, 0.01 Ом.

4. Рекомендовані параметри елементів електричної схеми наведені в табл. 4.1

Таблиця 4.1 – Рекомендовані параметри елементів електричної схеми

Опір R_x , Ом	Зразковий опір			Плечі відиошен. А і В, Ом	Опір перемички, Ом	Рскеоме. парам. гальванометра
	Клас	Ом	Потрібний струм, А			
0,001-0,1	0,01	0,1	1	100	0,01	$C = 2,8 \cdot 10^9$ А/мм·м

Данні всіх вимірів занести в табл. 4.2 і 4.3

Таблиця 4.2 – Електричний опір загартованих зразків

Індекс зразка	Темпер, гартув., °С	Робоча довжина м	Діаметр зразка, м	поперечного перетину, м ²	Питомий опір, мкОм м	Вимір, опір. Ом	Примітка
2-2	700						
3-2	800						
4-2	900						
5-2	1000						

Таблиця 4.3 – Електричний опір відпущених зразків

Індекс зразка	Темпер, відпуску °С	Робоча довжина м	Діаметр зразка, м	Площа поперечного перетину, м ²	Питомий опір, мкОм м	Вимір, опір. Ом	Примітка
2	200						$T_{гр}=800$ °С
3	200						$T_{гр}=1000$ °С
4	300						$T_{гр}=800$ °С
5	400						$T_{гр}=800$ °С
6	680						$T_{гр}=800$ °С

4.4 Зміст звіту

Коротко описати призначення і схему установки моста.
Принцип його роботи.

По одержаним експериментальним даним побудувати графіки залежності електроопору від температури гартування і відпускання.

Зробити висновки по роботі.

4.5 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю

Основні уявлення про електропровідність металів.

1. Правило Маттісена.
2. Електроопір твердих розчинів.
3. Електроопір гетерогенних сплавів.
4. Будова і принцип подвійного моста Томсона.
5. Як і чому впливають температури гартування та відпускання на величину питомого електричного опору?

5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

“ВИЗНАЧЕННЯ МОДУЛЯ НОРМАЛЬНОЇ ПРУЖНОСТІ НА РЕЗОНАНСНІЙ ЕЛЕКТРОМАГНІТНІЙ УСТАНОВЦІ”

Мета роботи – Освоїти метод визначення модуля пружності динамічним методом. Встановити залежності величини модуля від хімічного складу, термічної обробки і ступеня пластичної деформації зразків.

Матеріали, обладнання: Подвійний мост Томсона; зразки сталей з феритною структурою, до складу яких входять 13, 18 і 25 % хрому, нагартвані зразки сталі марки 08X18T1 зі ступенем деформації 0, 10, 20, 30, 40 і 50 %. Зразки зі сталей 12X13, 40X13 в загартованому і відпаленому стані. Штангенциркуль, мікрометр.

5.1 Короткі теоретичні відомості

Пружні властивості речовини характеризують сили міжатомного зв'язку. Знання пружних констант дозволяє судити про міжатомну взаємодію, а також про фазовий стан речовини. Так, наприклад, модуль нормальної пружності E збільшується при зменшенні міжатомної відстані. В зв'язку з цим спостерігається збільшення модуля в періоді із збільшенням порядкового номера елемента, що пов'язано із зменшенням атомного радіусу. В межах групи навпаки модуль зменшується (збільшується радіус атома). Це правило не розповсюджується на перехідні метали.

В сталях $\alpha \rightarrow \gamma$ перетворення приводить до збільшення E . Це пов'язано зі зростанням компактності кристалічної ґратки.

Під впливом наклепу модуль зменшується на 4...6 %, що пов'язано із нерівномірністю пластичної деформації в окремих локальних мікрооб'ємах, спотворенням кристалічної ґратки, зменшенням щільності матеріалу в зв'язку з накопиченням дефектів і, як результат цього впливу, в метали збільшуються міжатомні відстані.

Легування, збільшення кількості вуглецю в відпаленому стані, приводить до зменшення модуля приблизно на 0,3 % на кожен десяту відсотка вмісту вуглецю. Ще сильніше це проявляється в загартованій сталі, де атоми, які проникли в кристалічну ґратку Fe_α , приводять до її сильного спотворення, збільшують відстань між атомами заліза на

тетрагональній осі і сприяють різкому зменшенню модуля, не дивлячись на значне збільшення всіх характеристик міцності. Аналогічним чином впливають і атоми заміщення, коли вони розчиняються в кристалічній ґратці. При цьому змінюється міжатомна відстань між атомами компонента-розчинника. Її величина залежить від фактора розмірної невідповідності

$$\varepsilon = \frac{R_D - R_O}{R_O} \quad (5.1),$$

де R_D – радіус атома домішки;

R_O – радіус атома основи.

Експериментальні методи визначення модуля пружності можна розділити на дві групи: статичні і динамічні. В першому випадку модуль пружності визначають шляхом вимірюванням пружної деформації, яка виникає в зразку під дією відомого напруження. Модуль нормальної пружності при одноосному розтягуванні є коефіцієнтом пропорційності між напруженням, яке виникає при прикладенні зовнішнього навантаження, і видовженням зразка. Метод має той недолік, що для отримання достатньо точних результатів зразок необхідно доводити до значних деформацій, при котрих виникає небезпека виходу із області чисто пружно, поведінки металу (в реальних металах пружна деформація часто не перевищує 1%).

Динамічний метод визначення модуля пружності дозволяє проводити вимірювання при малих деформаціях і відзначається більш високою чутливістю, ніж статичний. Можливість застосування динамічного методу для вимірювання модуля пов'язана з високою швидкістю розповсюдження пружної деформації в металах. Швидкість пружної хвилі (швидкість звуку) в металах перевищує 1000 м/с, тобто навіть при великій швидкості навантаження в процесі вимірювань пружна деформація встигне пройти повністю.

Для динамічного визначення модуля відпрацьовано декілька способів:

- вимірювання частоти крутильних коливань дротяного зразка;
- вимірювання власної частоти вільних коливань плоского зразка при згині;

– імпульсний метод вимірювання швидкості проходження хвиль через зразок.

Зазначені динамічні методи дають відносну помилку визначення модуля пружності не більше 1 %. В даній роботі модуль нормальної пружності визначається вимірюванням власної частоти коливань плоского зразка під час його згину. При рівності частоти вимушених коливань із власною частотою коливань зразка виникає резонанс. Для такого випадку модуль може бути підрахований за формулою:

$$E = C \cdot \left(\frac{l}{h}\right)^3 \cdot \frac{m}{b} f^2, \text{ МПа} \quad (5.2)$$

де h – товщина зразка в площині коливань, м;

b – ширина зразка в площині, перпендикулярній площині коливань;

m – маса зразка $m = \rho \cdot b \cdot l \cdot h$, кг; ρ – густина, кг/м³;

l – довжина консольної частини зразка, м;

f – резонансна частота. Гц;

C – коефіцієнт.

Модулемір конструкції Панова складається із вібратора, генератора і осцилографа (рис. 5.1).

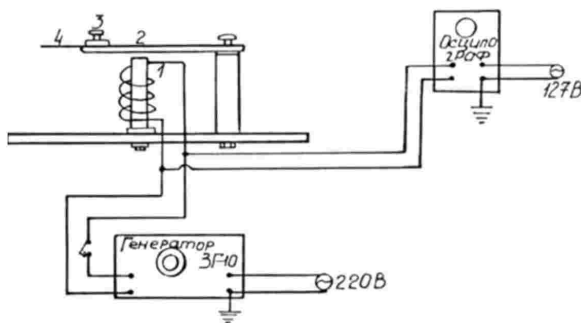


Рисунок 5.1 – Схема модулеміра системи Панова

Вібратор уявляє із себе електромагніт I із якорем 2, котрий має затискний пристрій 3 для зразка 4. Електромагніт живиться струмом від генератора сигналів ГЗ-34. При подачі на електромагніт струму

певної частоти він починає з такою ж частотою притягувати якір 2 із закріпленим на ньому зразком 4. Зразок при цьому починає коливатись, Змінюючи частоту струму його доводять до такої величини, при котрій амплітуда коливань зразка буде максимальною. Цей момент буде відповідати рівності частот коливань якоря із власною частотою коливань зразка (явище резонансу). Відлічивши по шкалі генератора значення резонансної частоти, яке відповідає максимальній амплітуді, за наведеною вище формулою розраховують значення модуля пружності E . Електронний осцилограф дає можливість по фігурам Лісажу проградувати генератор по частотам. При рівності частот генератора і струму в мережі на екрані осцилографа з'являється фігура Лісажу у вигляді еліпса. При вдвоє меншій частоті генератора (25 Гц) – вісімка з вертикальною віссю симетрії. Побудувавши градувальну криву, з її допомогою вносять поправку в показання шкали генератора при вимірюванні резонансної частоти зразків. Перевіряти тривалість показань шкали генератора необхідно в зв'язку з тим, що вона може бути збита і її показання можуть не відповідати вихідній частоті генератора.

5.2 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Вивчити фізичну сутність модуля нормальної пружності, а також вплив різноманітних чинників на цю важливу характеристику матеріалів, методи визначення модуля нормальної пружності. Опанувати схему модулеміра системи Панова та методику проведення експериментів. Зарисувати схему модулеміра (рис. 5.1), підготувати табл. 5.1 і на її основі побудувати графіки зміни модуля E .

5.3 Порядок проведення лабораторної роботи

Ввімкнути генератор і осцилограф в мережу змінного струму частотою 50 Гц і напругою 220 В. На генераторі (рис. 5.2) ручки «Шкала приладу» і «Множник» поставити в положення 1, а «Розлад» в положення 0. Ручки плавного регулювання «Частота Hz» і «Регулювання виходу» в крайне ліве положення, тумблери «Внутрішнє навантаження» і «Мережа» в положення «Вимк», ручку «Вихідний опір» поставити в положення 50, а регулятором

аттенюатора «Межі шкал – Ослаблення» установити на шкалі параметри 3 V, 10 V, 30 V, +30 db».



Рисунок 5.2 – Передня панель генератора ГЗ-34

На генераторі поставити тумблер «Мережа» в положення «Увімк» при цьому повинна засвітитись підсвіка шкали аттенюатора. На осцилографі ввімкнути тумблери «Мережа вкл.» і «Промінь вкл.», при повинна засвітитись сигнальна лампочка. Прилади прогріти на протязі 5...10 хв.

Перевірити показання генератора по частотам за допомогою осцилографа (фігури Лісажу) для чого:

- ввімкнути розгортку осцилографа. Перемикач частот розгортки поставити в положення «Увімк» (при цьому на екрані осцилографа повинна з'явитись певна фігура Лісажу);

- крутити ручку шкали генератора до перетворення цієї фігури в нерухомий еліпс, горизонтальну та вертикальну вісімку;

- помітити при цьому на шкалі генератора яким частотам відповідають частоти 50, 75 і 25 Гц електричного струму і побудувати градувальну криву в координатах $f_{стр}-f_{ген}$.

Закріпити зрачок в затискувачі відповідно мітці. Повергаючи ручку «Регулювання виходу» встановити максимальну напругу в межах шкали приладу. Шляхом плавного повороту ручки «Частота

Hz» встановити таку частоту f , при котрій амплітуда коливання зразка досягне максимального значення (резонанс). Для кожного зразка вимірювання провести двічі, закріпивши його спочатку одним, а потім другим кіпцем. Для розрахунків взяти середнє значення частоти $f_{рез}$. Всі отримані дані занести в табл. 5.2.

Таблиця 5.1 – Початкові дані зразків, резонансна частота та розрахункові значення модуля нормальної пружності

Марка сталі	I, м	b, м	h, м	$f_{рез}$, Гц	E, МПа	Примітка
Вплив вмісту хрому						
08						
08X13T						
08X18T1						
15X25T						
Вплив вмісту вуглецю (відпалювання)						
12X13						
20X13						
30X13						
40X13						
Гартування						
12X13						
20X13						
30X13						
40X13						
Вплив наклепу						
08X18T1						$\varepsilon = 0$
–						$\varepsilon = 10 \%$
–						$\varepsilon = 20 \%$
–						$\varepsilon = 30 \%$
–						$\varepsilon = 40 \%$
–						$\varepsilon = 50 \%$

Примітка: I, $f_{рез}$ і E підраховувати після кожного виміру

5.4 Зміст звіту

1. Основні теоретичні дані.
2. Схема установки і описання сутності методу.
3. Заповнена табл. 5.1 із результатами вимірювань та розрахунками. Гістограми зміни модуля пружності від хімічного складу, структури (відпалювання – гартування) і ступеня деформації.
4. Схеми мікроструктур сталей після відпалювання, гартування, пластичної деформації.
5. Аналіз і пояснення отриманих залежностей.

5.5 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи

1. Фізична сутність пружних констант речовини і вплив на їх величину різних факторів.
2. Причини феромагнітної аномалії пружності.
3. Сутність методу визначення модуля нормальної пружності динамічним методом.
4. Як і чому впливає вміст хрому і вуглецю на модуль нормальної пружності.
5. Як і чому впливають термічна обробка та наклеп на модуль нормальної пружності?

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Сніжної Г.В. Наукові основи впливу магнітного стану структури на властивості аустенітних сталей : дис. ... д-ра техн. наук : 05.16.01. Запоріжжя, 2018. 390 с.

2. Snizhnoi G., Sazhnev V., Vasylenko O., Onyshchenko D., Snizhna K. On the possibility of monitoring small deformations of austenitic medium-manganese steels using the magnetometric method // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. 2025. № 4. С. 47–52.

3. Дурягіна З.А., Голяка Р.Л., Борисюк А.К. Автоматизований широкодіапазонний магнетометер для магнетної фазової аналізи стопів: розробка та застосування // Успехи фізики металлов. 2013. Т. 14, № 1. С. 33–66.

4. Сніжної Г.В., Василенко О. В., Онищенко Д. С., Сніжна К. Г. Інтегрована автоматизована система управління технологічними процесами «Якість». Матеріали VI Міжнародної наук.-практ. інтернет конф., м. Миколаїв, 16–17 лист. 2025 р. / НУК імені адмірала Макарова. Миколаїв, 2025. С. 97–98.

5. Визначення переддефектного стану металоконструкцій об'єктів підвищеної небезпеки / Д. М. Марченко та ін. Северодонецьк: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2016. 268 с.

6. Сніжної Г. В., Жавжаров Є. Л. Автоматизована установка для визначення магнетної сприйнятливості криць та стопів // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування. 2012. № 49. С. 136–141.

7. Snizhnoi G.V., Narivs'kyi O.E., Snizhnoi V.L., Pulina T.V., Sheyko S. P. Influence of specific magnetic susceptibility of AISI 304 steel on its pitting resistance in the model circulating waters // Materials Science. 2024. Vol. 60, No. 3. P. 344–350. <https://doi.org/10.1007/s11003-025-00891-1>

8. Snizhnoi, G.V., Snizhnoi, V.L. Magnetometric assessment of the influence of chemical elements on the corrosion of austenitic Fe-Cr-Ni alloys // Materials Science. 2024. Vol. 60. P. 91–96. <https://doi.org/10.1007/s11003-024-00857-9>

9. Dzhus A.V., Narivskiy O.E., Snizhnoi G.V., Pulina T.V., Snizhnoi V.L. The effect of the specific magnetic susceptibility of 06KhN28MDT (similar to AISI904L steel) on its corrosion behaviour in the circulating water of enterprises // *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*. 2024. Vol. 46, No. 8. P. 739–753. DOI: 10.15407/mfint.46.08.0739

10. Сніжної Г.В., Нарівський О.Е., Сніжної В.Л., Пуліна Т.В., Шейко С.П. Вплив питомої магнітної сприйнятливості сталі AISI 304 на її опір пітингуванню в модельних оборотних водах // *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2024. Т. 60, № 3. С. 92–98.

11. Нарівський О.Е., Сніжної Г.В., Пуліна Т.В., Сніжної В.Л., Солідор Н.А. Вплив питомої магнітної сприйнятливості сталі AISI 304 на її граничні потенціали в хлоридовмісних середовищах // *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2023. Т.59, № 6. – С. 5–13.

12. Спосіб визначення зносостійкості аустенітних сталей і сплавів : пат. 68116 Україна : G01N 27/76 (2006.01), G01N 3/56 (2006.01) : № у 201111635; заявл. 03.10.2011; опубл. 12.03.2012. Бюл. № 5. 5 с.

13. Спосіб визначення ударної в'язкості аустенітних манганових сталей : пат. 73517 Україна : МКВ G01N 27/76 (2006.01). : № у 201203264; заявл. 20.03.2012; опубл. 25.09.2012. Бюл. № 18. 4 с.

14. Спосіб визначення швидкості корозії аустенітних сталей і сплавів : пат. 78117 Україна : МПК (2013.01) G01N 17/00 G01N 27/76 (2006.01). : № у 201210212; заявл. 28.08.2012; опубл. 11.03.2013. Бюл. № 5. 4 с.

15. Сніжної Г.В. Залежність корозійної поведінки аустенітних хромонікелевих сталей від парамагнітного стану аустеніту // *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2013. Т.49, №3. – С. 58–62.

Додаток А
Приклад оформлення титульної сторінки

Міністерство освіти та науки України

Національний університет «Запорізька політехніка»

Кафедра ІБтаН

ЗВІТ
З ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ №__

(тема роботи)

з дисципліни „Основи магнітометрії конструкційних матеріалів“

Виконав:
ст. гр. БК—__

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Прийняв:
д.т.н., проф.

Геннадій СНИЖНОЙ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

20__ р.

Додаток Б
Патент

“Спосіб визначення ударної в’язкості аустенітних манганових сталей”



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **73517** (13) **U**
(51) МПК
G01N 27/76 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2012 03264 (22) Дата подання заявки: 20.03.2012 (24) Дата, з якої в чинними права на корисну модель: (46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.09.2012, Бюл.№ 18</p>	<p>(72) Винахідник(и): Сніжної Геннадій Валентинович (UA), Сажнев Володимир Миколайович (UA) (73) Власник(и): ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Жуковського, 64, м.Запоріжжя, 69063 (UA) (74) Представник: Висоцька Наталя Іванівна, начальник патентно-інформаційного відділу НДЧ ЗНТУ, реєстр. №0</p>
---	---

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ УДАРНОЇ В'ЯЗКОСТІ АУСТЕНІТНИХ МАНГАНОВИХ СТАЛЕЙ

(57) Реферат:

Спосіб визначення ударної в'язкості аустенітних манганових сталей полягає в тому, що із сталевих матеріалів виготовляють еталонні зразки, які піддають магнетуванню, розміщуючи їх в постійному магнетному полі, вимірюють магнетний параметр, встановлюють градувальну залежність між ударною в'язкістю і магнетним параметром. Досліджувані зразки із сталевих матеріалів піддають магнетуванню і визначають магнетний параметр. За допомогою градувальної залежності цього магнетного параметра від ударної в'язкості визначають ударну в'язкість досліджуваного матеріалу. Як магнетний параметр вимірюють парамагнетну питому магнетну сприйнятливості сталевих матеріалів.

UA 73517 U

Продовження додатку Б

UA 73517 U

Корисна модель належить до галузі машинобудування і металургії, а саме до способів визначення ударної в'язкості аустенітних марганцевих сталей.

Відомий спосіб визначення механічних властивостей сталі з феромагнетних матеріалів [1], який полягає в тому, що вимірюються магнетні параметри (коерцитивна сила, магнетна проникність), а потім за залежністю цих параметрів від механічних властивостей для еталонних сталей визначають механічні властивості досліджуваної сталі.

Недоліком цього способу є можливість його використання лише для феромагнетних матеріалів, яким властиві ці магнетні параметри. Це значно звужує область використання способу, бо більшість матеріалів є слабомагнетними (парамагнетики, діамагнетики).

Найбільш близьким до запропонованої корисної моделі є спосіб визначення ударної в'язкості металічних виробів [2], прийнятий за прототип, в якому для визначення ударної в'язкості матеріалу конструкції встановлюють тарировальну залежність між ударною в'язкістю матеріалу зразків, які піддаються деформаційному старінню різного ступеня, та їх магнето-шумовим сигналом.

До недоліків даного методу слід віднести наявність впливу власних шумів перетворювача, теплових шумів системи реєстрації сигналу і зовнішніх електромагнетних завод на форму та амплітуду магнето-шумового сигналу, що впливає на якість визначення ударної в'язкості.

Задачею корисної моделі є:

- створення способу визначення ударної в'язкості сталевих матеріалів аустенітного класу (парамагнетиків);

- підвищення достовірності і точності вимірювання ударної в'язкості для вищезазначених сталей.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі визначення ударної в'язкості аустенітних марганцевих сталей, який полягає в тому, що із сталевих матеріалів виготовляють еталонні зразки, які піддають магнетуванню, розміщуючи їх в постійному магнетному полі, вимірюють магнетний параметр, встановлюють градувальну залежність між ударною в'язкістю і магнетним параметром, потім досліджувані зразки із сталевих матеріалів піддають магнетуванню і визначають магнетний параметр та за допомогою градувальної залежності цього магнетного параметра від ударної в'язкості визначають ударну в'язкість досліджуваного матеріалу. За магнетний параметр приймають парамагнетну питому магнетну сприйнятливість сталевого матеріалу.

Технічний результат полягає в можливості використання способу для визначення ударної в'язкості марганцевих сталей, які належать до аустенітного класу, і в підвищенні достовірності та точності визначення завдяки використанню магнетного параметру - парамагнетної питомої магнетної сприйнятливості аустеніту та дозволяє використовувати запропонований спосіб для визначення з підвищеною якістю ударної в'язкості аустенітних марганцевих сталей.

Відмінними ознаками є використання структурно-чутливого параметру парамагнетної питомої магнетної сприйнятливості аустеніту, що підвищує достовірність і точність визначення ударної в'язкості.

Це забезпечує усій заявленій сукупності ознак відповідність критерію „Новизна” та приводить до нових технічних результатів.

На фіг. 1 подано залежність ударної в'язкості KCU від парамагнетної питомої магнетної сприйнятливості χ_0 для еталонних аустенітних марганцевих сталей.

Спосіб здійснюється так.

Для визначення ударної в'язкості досліджуваної сталі 110Г13Л (пл. 6) запропонованим способом побудована градувальна залежність «парамагнетна питома сприйнятливості - ударна в'язкість» з використанням еталонних зразків зі сталей 110Г8Л (пл. 1, 2), 110Г10Л (пл. 3, 4) і 110Г13Л (пл. 5). Для повної аустенізації зразки загартовували у воду від 1050 °C і визначали ударну в'язкість KCU та парамагнетну питому сприйнятливості χ_0 . Хімічний склад сталей в залежності від плавки і марки наведено у таблиці 1. Вміст марганцу варіювався від 8,43 до 13,8 % мас. Вміст інших елементів витримувався в межах хімічного складу для сталі 110Г13Л згідно з стандарту ГОСТ 977-88. Ударна в'язкість KCU визначалась згідно з ГОСТ 9454-78.

Продовження додатку Б

Таблиця 1

Хімічний склад еталонних та досліджуваної сталей

№ плавки	Марка сталі	Елемент, % мас.						
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Al
1	110Г8Л	1,34	8,43	0,80	0,140	0,092	0,060	0,019
2	110Г8Л	1,14	8,60	0,66	0,040	0,088	0,100	0,019
3	110Г10Л	1,39	10,42	0,56	0,014	0,110	0,001	0,025
4	110Г10Л	1,30	10,70	0,87	0,014	0,084	0,100	0,021
5	110Г13Л	1,16	13,80	0,76	0,016	0,092	0,100	0,018
6	110Г13Л	1,35	12,91	0,76	0,009	0,090	0,180	0,018

5 На магнетометричній установці [3] вимірювався компенсаційний струм еталонних зразків $i_{зр}$ для визначення парамагнетної питомої сприйнятливості χ_0 . Так, наприклад, для сталі 110Г13Л (пл. 5) еталонний зразок мав масу $m_{зр}=129,74$ мг. Під дією магнетного поля $H=2,55 \cdot 10^5$ А/м він змістився і для його повернення у вихідне положення був прикладений компенсаційний струм $i_{зр}=5,54$ мА.

10 Для знаходження парамагнетної питомої магнетної сприйнятливості χ_0 еталонного зразка використовували відоме для солі Мора табличне значення магнетної сприйнятливості $\chi_M=3,2 \cdot 10^8$ м³/кг. Для солі Мора масою $m_M=65,0$ мг компенсаційний струм становив $i_M=3,78$ мА. Відносна похибка вимірювань складала 2-3 %.

Використовуючи наступні вирази [4] для еталонного зразка сталі 110Г13Л (пл. 5) і солі Мора:

$$i_{зр} = m_{зр} \cdot \chi_0 \cdot H \cdot \frac{dH}{dx} \quad (1),$$

$$i_M = m_M \cdot \chi_M \cdot H \cdot \frac{dH}{dx} \quad (2)$$

15 отримавмо формулу для розрахунку парамагнетної питомої магнетної сприйнятливості χ_0 сталі 110Г13Л (пл. 5):

$$\chi_0 = \frac{i_{зр}}{i_M} \cdot \frac{m_M}{m_{зр}} \cdot \chi_M = \frac{5,54}{3,78} \cdot \frac{65,0}{129,74} \cdot 3,2 \cdot 10^8 \left(\frac{\text{мА}}{\text{мА}} \cdot \frac{\text{мг}}{\text{мг}} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \right) = 2,37 \cdot 10^8 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

20 Аналогічно були визначені значення парамагнетної питомої сприйнятливості χ_0 і для інших еталонних зразків сталей: 110Г8Л (пл. 1, 2), 110Г10Л (пл. 3, 4). Ударну в'язкість і значення парамагнетної питомої сприйнятливості згаданих сталей вказано у табл. 2.

На підставі даних табл. 2 побудовано градувальну залежність «парамагнетна питома сприйнятливості - ударна в'язкість» для еталонних матеріалів (Фіг. 1).

Таблиця 2

Значення парамагнетної питомої сприйнятливості χ_0 , вміст мангану Mn і ударної в'язкості KCU еталонних сталей

№ плавки	Марка сталі	Mn, % мас.	$\chi_0, 10^8$ м ³ /кг	KCU, Дж/см ²
1	110Г8Л	8,43	3,92	79
2	110Г8Л	8,60	3,90	84
3	110Г10Л	10,42	2,88	176
4	110Г10Л	10,70	2,81	190
5	110Г13Л	13,80	2,37	223

25 Потім визначали за допомогою магнетометричної установки парамагнетну питому магнетну сприйнятливості досліджуваної сталі 110Г13Л (пл. 6), яка дорівнює $2,67 \cdot 10^8$ м³/кг, і за отриманою раніше залежністю для еталонних матеріалів за градувальним графіком «парамагнетна сприйнятливості - ударна в'язкість» (Фіг. 1) знаходили величину ударної в'язкості досліджуваного матеріалу, яка дорівнює 200 Дж/см². Ударна в'язкість цієї сталі, яка була визначена згідно з ГОСТ 9454-78 (випробування на ударний вигин), дорівнювала 204 Дж/см².

30 Отже розбіжність результатів знаходиться в межах 2-3 %, що є цілком допустимим і прийнятним.

Продовження додатку Б

UA 73517 U

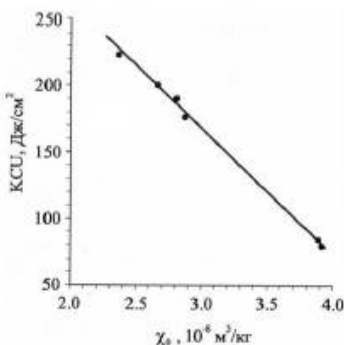
Виходячи з вищевикладеного, можна зробити висновок про те, що технічне рішення, яке заявляється, задовольняє критерію «Промислове застосування».

Джерела інформації:

1. Пат. № 5679887 США, МПК⁶ G01N27/80, G01N33/20, G01R33/12, G01R033/12, B23Q017/20, G01N003/00. Method of estimating mechanical hardness of steel from its magnetic properties [Електронний ресурс] / Z.S. Salmasi, H.J. Stanbury, T. Meydan, A.J. Moses, O.P. Page, P. Beckley - № PCT/GB94/02337; заявл. 19.06.1996; опубл. 21.10.1997. Режим доступу: <http://patft.uspto.gov/netaol/nph-Parser?Sect1=PTO2&Sect2=mTOFF&p=1&u=%2Fnetathtml%2FPTO%2Fsearch-bool.html&r=1&f=G&l=50&col=AND&d=PTXT&sl=5679887&OS=5679887&RS=5679887>
- 10 2. Пат. № 2108560 Российской Федерации, МПК⁶ G01N3/00, G01N3/30. Способ определения остаточного ресурса конструкции [Електронний ресурс] / Ю.И. Пашков, Л.Л. Ситников, В.В. Ершов, В.С. Волков, М.В.Демаков - № 95115924/28; заявл. 13.09.1995; опубл. 10.04.1998. Режим доступу: <http://www.fips.ru/cdfi/Fips2009.dll/CurrDoc?SessionKey=L6F8RQEGFEWCCCDLSUGW&GotoDoc=1&Query=3>
- 15 3. Мирошниченко Ф.Д. Магнитометрические весы с униполярной астатической системой и механико-магнитным зацеплением пружины [Текст] / Ф.Д. Мирошниченко, В.Л. Снежной// Приборостроение. Межведомственный научно-технический сб. № 2; К.: Техника.- 1988. - с. 48.
- 20 4. Чечерников, В.И. Магнитные измерения [Текст] / В.И. Чечерников. - М.: Изд-во Московского университета. - 1969. - с. 128.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- 25 Спосіб визначення ударної в'язкості аустенітних мнганових сталей, який полягає в тому, що із сталевих матеріалів виготовляють еталонні зразки, які піддають магнетуванню, розміщуючи їх в постійному магнетному полі, вимірюють магнетний параметр, встановлюють градувальну залежність між ударною в'язкістю і магнетним параметром, потім досліджувані зразки із сталевих матеріалів піддають магнетуванню і визначають магнетний параметр та за допомогою градувальної залежності цього магнетного параметра від ударної в'язкості визначають ударну в'язкість досліджуваного матеріалу, який відрізняється тим, що як магнетний параметр вимірюють парамагнетну питому магнетну сприйнятливість сталевго матеріалу.
- 30



Комп'ютерна верстка В. Мацело

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДЛ "Український Інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

Додаток В
 Патент “Спосіб визначення швидкості корозії аустенітних сталей і сплавів”



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **78117** (13) **U**
 (51) МПК (2013.01)
 G01N 17/00
 G01N 27/76 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2012 10212</p> <p>(22) Дата подання заявки: 28.08.2012</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 11.03.2013</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 11.03.2013, Бюл.№ 5</p>	<p>(72) Винахідник(и): Сніжної Геннадій Валентинович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063 (UA)</p>
---	--

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ КОРОЗІЇ АУСТЕНІТНИХ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ

(57) Реферат:

Спосіб визначення швидкості корозії аустенітних сталей і сплавів полягає в тому, що еталонні зразки із сталевих матеріалів піддають магнетуванню, розміщуючи їх в постійному магнетному полі, вимірюють магнетний параметр, встановлюють залежність між швидкістю корозії і магнетним параметром, потім досліджувані зразки із сталевих матеріалів також піддають магнетуванню і визначають магнетний параметр та по отриманій раніше залежності цього магнетного параметра від швидкості корозії для еталонних зразків визначають швидкість корозії досліджуваних зразків. Як магнетний параметр вимірюють парамагнетну питому магнетну сприйнятливість сталевих матеріалів.

UA 78117 U

Продовження додатку В

Корисна модель належить до галузі машинобудування і металургії, а саме до способів визначення швидкості корозії аустенітних сталей і сплавів в агресивних середовищах.

Відомий спосіб визначення швидкості корозії металевих конструкцій [1], який полягає в тому, що в металевій об'єкті, який знаходиться у корозійному середовищі, збуджують поверхневу електромагнетну хвилю. За величиною зміни сповільнення електромагнетної хвилі визначають швидкість корозії.

Недоліком цього способу є відносна низька точність вимірювання, внаслідок суттєвого впливу агресивного середовища на величину затухання поверхневої хвилі, а також низька чутливість вимірювань внаслідок великих електродинамічних втрат під час збудження та реєстрації сповільненої хвилі у досліджуваному матеріалі.

Найбільш близьким до пропонованої корисної моделі є спосіб визначення швидкості корозії [2], прийнятий за прототип, в якому встановлюють залежність між величиною електричної напруги (розбалансу електричного моста, до різних плечей якого підключені намагнетичуючі пристрої) і досліджуваній феромагнетний матеріал, та товщиною досліджуваного матеріалу. Потім за величиною зменшення товщини матеріалу визначали швидкість корозії.

Недоліком цього способу є можливість його використання лише для феромагнітних матеріалів. Це значно звужує область використання способу, бо значна кількість корозійностійких сталей і сплавів є аустенітними, тобто парамагнітними. Також до недоліків даного методу слід віднести низьку точність вимірів, яка зумовлена наявністю складових похибок під час вимірювання електричної напруги при різних частотах, електричного опору та використання коректуючих алгоритмів, що впливає на точність визначення швидкості корозії.

Задачею корисної моделі є:

- створення способу визначення швидкості корозії аустенітних сталей і сплавів (парамагнетиків);
- підвищення достовірності і точності вимірювання швидкості корозії для вищезазначених матеріалів.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі визначення швидкості корозії аустенітних сталей і сплавів, який полягає в тому, що еталонні зразки із сталевих матеріалів піддають магнетуванню, розміщуючи їх в постійному магнетному полі, вимірюють магнетний параметр, встановлюють залежність між швидкістю корозії і магнетним параметром, потім досліджувані зразки із сталевих матеріалів також піддають магнетуванню і визначають магнетний параметр та по отриманій раніше залежності цього магнетного параметра від швидкості корозії від еталонних зразків визначають швидкість корозії досліджуваних зразків.

За магнетний параметр приймають парамагнетну питому магнетну сприйнятливості сталевих матеріалів.

Технічний результат полягає в можливості використання способу для визначення швидкості корозії марганцевих сталей, які відносяться до аустенітного класу, і в підвищенні достовірності та точності визначення завдяки використанню магнетного параметра - парамагнетної питомої магнетної сприйнятливості аустеніту та дозволяє використовувати пропонований спосіб для визначення з підвищеною якістю швидкості корозії аустенітних сталей і сплавів.

Відмінними ознаками є використання структурно-чутливого параметру парамагнетної питомої магнетної сприйнятливості аустеніту, що підвищує достовірність і точність визначення швидкості корозії.

Це забезпечує усій заявленій сукупності ознак відповідність критерію "Новизна" та приводить до нових технічних результатів.

Аналоги, які містять ознаки, що відрізняються від прототипу, не знайдені, рішення явним чином не впливає з рівня техніки.

На кресленні (Фіг.) подано залежність швидкості корозії від парамагнетної питомої магнетної сприйнятливості χ_0 для еталонних аустенітних сталей.

Спосіб здійснюється так. Для визначення швидкості корозії досліджуваної сталі типу 08X18H10T (зразок № 1) запропонованим способом побудована залежність "парамагнетна питома сприйнятливості - швидкість корозії" з використанням еталонних зразків зі сталей 08X18H10T (зразки № 2, 3, 4, 5, 6). Хімічний склад сталей в залежності від зразка наведено в таблиці 1. Вміст елементів витримувався в межах хімічного складу для сталі 08X18H10T згідно стандарту ГОСТ 5632-72. Сталь 08X18H10T була промислового виробництва у вигляді листової поставки товщиною 1 мм.

Продовження додатку В

Таблиця 1

Хімічний склад еталонних (зразки № 2, 3, 4, 5, 6) та досліджуваної (зразок 1) сталей типу 08X18H10T

№ зразка	Елемент, % мас.								
	C	N	Ni	Mn	Cr	Si	Ti	S	P
1	0,035	0,012	9,10	1,86	17,10	0,54	0,32	0,001	0,026
2	0,080	0,011	9,14	1,59	16,43	0,66	0,34	0,002	0,027
3	0,064	0,012	9,70	1,22	17,43	0,52	0,41	0,001	0,026
4	0,030	0,013	9,24	1,62	17,41	0,41	0,31	0,002	0,028
5	0,040	0,013	9,10	1,70	17,70	0,49	0,35	0,001	0,026
6	0,070	-	10,46	1,70	17,97	0,49	0,46	0,007	0,027

Швидкість корозії визначалась згідно стандарту ГОСТ 9.908-85. Корозійні втрати визначали зважуванням, а швидкість корозії К розраховували згідно формули:

$$K = \frac{(m_0 - m_1)}{S} \cdot \tau, \quad (1)$$

де m_0 і m_1 - маса зразка до і після випробувань у хлоридовмісному розчині з рН8 (г);

S - площа поверхні зразка (m^2);

τ - час випробувань (год).

Таблиця 2

Швидкість корозії К еталонних зразків сталей типу 08X18H10T у хлоридовмісному розчині

№ зразка	2	3	4	5	6
K, г/м ² год	98,8	89,9	76,8	126,1	165,2

На магнетометричній установці [3] вимірювався компенсаційний струм еталонних зразків і для визначення парамагнетної питомої сприйнятливості χ_0 . Так, наприклад, еталонний зразок 2 мав масу $m_{02}=107,7$ мг. Під дією магнетного поля $H=2,55 \cdot 10^5$ А/м він змістився і для його повернення у вихідне положення був прикладений компенсаційний струм $i_{02}=5,01$ мА.

Для знаходження парамагнетної питомої магнетної сприйнятливості χ_0 еталонного зразка використовували відоме для солі Мора табличне значення магнетної сприйнятливості $\chi_M=3,2 \cdot 10^{-8}$ м³/кг. Для солі Мора масою $m_M=65,0$ мг компенсаційний струм становив $i_M=3,78$ мА. Відносна похибка вимірювань складала 2÷3 %.

Використовуючи наступні вирази [4] для еталонного зразка 2 сталі і солі Мора:

$$i_{02} = m_{02} \cdot \chi_0 \cdot H \cdot \frac{dH}{dx}, \quad (2),$$

$$i_M = m_M \cdot \chi_M \cdot H \cdot \frac{dH}{dx}, \quad (3),$$

отримаємо формулу для розрахунку парамагнетної питомої магнетної сприйнятливості χ_0 сталі для зразка 2:

$$\chi_0 = \frac{i_{02}}{i_M} \cdot \frac{m_M}{m_{02}} \cdot \chi_M = \frac{5,01}{3,78} \cdot \frac{65,0}{107,7} \cdot 3,2 \cdot 10^{-8} \left(\frac{\text{мА}}{\text{мА}} \cdot \frac{\text{мг}}{\text{мг}} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \right) = 2,56 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Аналогічно були визначені значення парамагнетної питомої сприйнятливості χ_0 і для інших еталонних зразків сталей (зразки 3, 4, 5, 6). Значення парамагнетної питомої сприйнятливості згаданих сталей вказано у табл. 3.

На підставі даних табл. 2 і табл. 3 побудовано залежність "парамагнетна питома сприйнятливості - швидкість корозії" для еталонних зразків (Фіг.).

Продовження додатку В

UA 78117 U

Таблиця 3

Значення парамагнетної питомої сприйнятливості χ_0 еталонних зразків

№ зразка	2	3	4	5	6
$\chi_0 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{кг}$	2,56	2,59	2,68	2,54	2,52

Потім визначали за допомогою магнетометричної установки парамагнетну питому магнетну сприйнятливості досліджуваної сталі (зразок 1), яка дорівнює $2,55 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{кг}$, і за отриманою раніше залежністю для еталонних зразків за графіком "парамагнетна сприйнятливості-швидкість корозії" (Фіг.) знаходили величину швидкості корозії досліджуваного матеріалу, яка дорівнює $110 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}$. Швидкість корозії цієї сталі, яка була визначена згідно формули (1), дорівнювала $113 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}$. Отже розбіжність результатів знаходиться в межах $2\text{-}3\%$, що є цілком допустимим і прийнятним.

Виходячи з вищевикладеного, можна зробити висновок про те, що технічне рішення, яке заявляється, задовольняє критерію "Промислово придатність".

Джерела інформації:

1. Пат. № 2110784 Российская Федерация, МПК⁸ G01N17/00. Способ контроля скорости коррозии металлических объектов [Электронный ресурс] / Ю.Н. Пчельников, Р.М. Дымшиц, А.Д. Сулимин, Г.М. Федичкин, З.Т. Галиуллин, В.Д. Сулимин, С.В. Карпов - № 95119931/28; заявл. 21.11.1995; опубл. 10.05.1998. Режим доступу: <http://www.fips.ru/odfi/Fips2009.dtl/CurrDoc?SessionKey=IR1R1NMQK5SWUFPRVY2I&GotoDoc=1&Query=1>.

2. Пат. № 2193182 Российская Федерация, МПК⁷ G01N17/00. Способ определения скорости коррозии [Электронный ресурс] / В.Ф. Новиков, Г.В. Крылов, В.Ф. Быков, А.А. Болотов - № 2000101941/28; заявл. 26.01.2000; опубл. 20.11.2002. Режим доступу: <http://www.fips.ru/odfi/Fips2009.dtl/CurrDoc?SessionKey=IR1R1NMQK5SWUFPRVY2I&GotoDoc=1&Query=2>.

3. Сніжної, Г.В. Автоматизована установка для визначення магнетної сприйнятливості криць та стопів [Текст] / Г.В. Сніжної, Є.Л. Жавжаров // збірник наукових праць "Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія - Радіотехніка. Радіоапаратобудування". - 2012. - № 49. - С. 136-141.

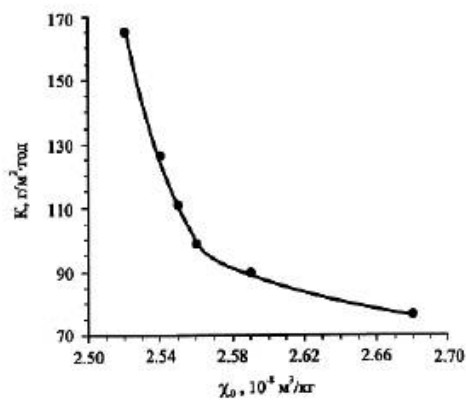
4. Чечерников, В.И. Магнитные измерения [Текст] / В.И. Чечерников. - М.: Изд-во Московского университета. - 1969. - С. 128.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб визначення швидкості корозії аустенітних сталей і сплавів, який полягає в тому, що еталонні зразки із сталевих матеріалів піддають магнетуванню, розміщуючи їх в постійному магнетному полі, вимірюють магнетний параметр, встановлюють залежність між швидкістю корозії і магнетним параметром, потім досліджувані зразки із сталевих матеріалів також піддають магнетуванню і визначають магнетний параметр та по отриманій раніше залежності цього магнетного параметра від швидкості корозії для еталонних зразків визначають швидкість корозії досліджуваних зразків, який відрізняється тим, що як магнетний параметр вимірюють парамагнетну питому магнетну сприйнятливості сталевих матеріалів.

Продовження додатку В

UA 78117 U



Фіг.

Комп'ютерна верстка В. Мацело

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601