

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Радіоелектроніки і телекомунікацій

(повне найменування інституту, факультету)

Мікро- та наноелектроніки

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка
до магістерської роботи

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Використання магнітометричного методу
для контролю якості аустенітних сталей

Виконав: студент ІІ курсу, групи РТЗ-419м
Спеціальності 152 – «Метрологія та
інформаційно-вимірювальна техніка»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

«Якість, стандартизація та сертифікація»

Сніжної Г.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Погосов В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Манукян О.А.

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Радіоелектроніки та телекомунікації
 Кафедра Мікро та наноелектроніки
 Ступінь вищої освіти магістр
 Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) «Якість, стандартизація та сертифікація»
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри мікро- та
наноелектроніки
В. В. Погосов
 « » 2020 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Сніжного Геннадія Валентиновича

(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема проекту (роботи) Використання магнітометричного методу
для контролю якості аустенітних сталей
 керівник роботи Погосов Валентин Вальтерович, д. ф.-м. н., професор
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
 затверджені наказом закладу вищої освіти № 332 від «13» листопада 2020 року
- Строк подання студентом проекту (роботи) 10 грудня 2020 року.
- Вихідні дані до проекту (роботи) ДСТУ 2651/2005 Сталі вуглецева звичайної
якості. Марки; ГОСТ 9454/78 Metали. Метод випробування на ударний вигин;
ГОСТ 1497/84 Metали. Методи випробувань на розтяг; ДСТУ 8803/2018 Прокат
з сталі звичайної якості. Технічні умови; ДСТУ 61000-4-8/2017
Електромагнетна сумісність.
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Розглянуто основні можливості магнетометрії. Використовуючи
чисельний експеримент обґрунтована оптимальна методика вимірювання
магнетних параметрів. Показана можливість використання питомої
парамагнетної сприйнятливості χ_0 австеніту для контролю механічних
параметрів хромонікелевих і високоманганових сталей. Автоматизована

процедура управління експериментом (з використанням мікропроцесора). Розроблена комп'ютерна інформаційна система. Запропонована номограма для контролю і прогнозування ого звуження сталей за допомогою магнетного критерію, а семе χ_0 австеніту.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Прийняв виконане завдання
1-3	Погосов В.В., д.ф.-м.н., проф. каф. МіНЕ		
4	Севастьянов Р.В., к.е.н., доцент каф. ПТБД		
5	Якімцов Ю.В., к.е.н., доцент каф. ОПіНС		
Нормо-контроль	Коротун А.В., к.ф.-м.н., доцент каф. МіНЕ		

7. Дата видачі завдання «20» вересня 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Збір і аналіз інформації стосовно магнетних вимірювань параметрів різноманітних сталей.	20.09. – 30.09.	виконано
2	Ознайомлення з магнетометричною установкою типу ваги Фарадея та методикою вимірювання.	01.10. – 08.10.	виконано
3	Підготовка зразків австенітних хромонікелевих та високоманганових сталей.	09.10. – 15.10.	виконано
4	Автоматизація обладнання та процесу проведення експерименту.	16.10. – 25.10.	виконано
5	Проведення експериментальних досліджень (магнетометрія, механічні випробування)	26.10. – 10.11.	виконано
6	Обробка експериментальних результатів та їх аналіз. Створення інформаційної системи.	11.11. – 21.11.	виконано
7	Аналіз економічної ефективності проекту	22.11. – 25.11	виконано
8	Розробка заходів по охороні праці	26.11. – 28.11	виконано
9	Оформлення роботи	29.11. – 06.12	виконано

Студент

(підпис)

Сніжної Г.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Погосов В.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

ПЗ: 85 с., 32 рис., 17 табл., 1 додаток, 51 джерело.

Мета роботи: виявлення та дослідження зв'язку між магнетним станом австеніту і механічними властивостями австенітних сталей, оптимізація методики вимірювання магнетних характеристик.

Об'єкт дослідження: процеси впливу структурно-магнетного стану (питомої парамагнетної сприйнятливості χ_0 австеніту та малого вмісту феромагнетних фаз P_α) на механічні властивості хромонікелевих і високоманганових австенітних сталей.

Предмет дослідження: стабільність австеніту, деформаційні $\gamma \rightarrow \alpha'$ перетворення, фізико-механічні властивості австенітних сталей.

Методи дослідження: магнетометричний метод для визначення χ_0 та P_α зразків досліджуваних сталей, механічні випробування.

Результати: обґрунтована оптимальна методика вимірювання магнетних параметрів; показана можливість використання χ_0 австеніту для прогнозування та контролю якості сталей; запропонована номограма для контролю якості.

Рекомендації щодо впровадження: робота носить прикладний характер, запропоновано магнетометричний метод контролю механічних властивостей.

Практична цінність: для металургійних та машинобудівних підприємств розроблена апаратна та інформаційна складові інтегрованої автоматизованої система контролю «Якість».

АВСТЕНІТ, СТАЛЬ, ПИТОМА МАГНЕТНА СПРИЙНЯТЛИВІСТЬ, ФЕРИТ, МАРТЕНСИТ, ПЛАСТИЧНА ДЕФОРМАЦІЯ, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень	7
Вступ	8
1. МАГНЕТНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЧОВИН	10
1.1 Можливості та призначення магнетних вимірювань	10
1.2 Вібраційний магнетометр для вимірювання магнетних параметрів ферромагнетних сталей і сплавів	16
1.3 Установа та методика розрахунків для визначення магнетної сприйнятливості австенітних сталей і сплавів	17
1.4 Характеристика та застосування австенітних сталей	19
2. АВТОМАТИЗОВАНА УСТАНОВКА ТА МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ МАГНЕТНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ АВСТЕНІТНИХ СТАЛЕЙ	21
2.1 Аналіз параметрів, які визначають якість австенітних сталей	21
2.1.1 Оцінка якості сталей способом визначення різноманітних механічних і службових показників	21
2.1.2 Оцінка якості сталей способом визначенням одного фізичного показника	22
2.1.3 Оцінка якості сталей способом визначенням питомої парамагнетної сприйнятливості χ_0 австеніту та малої кількості α -фази	27
2.2 Автоматизована установка для визначення питомої магнетної сприйнятливості австенітних сталей	29
2.3 Модель контуру системи регуляції температури	32
2.4 Моделінг автоматизованої системи для вимірювання магнетної сприйнятливості	33
2.5 Оптимізація методики проведення вимірювань для визначення параметрів магнетного стану	35

2.6	Методика визначення малого вмісту α -фази	38
2.7	Комп'ютерне моделювання фізичних параметрів хромонікелевих сталей	39
3.	КОНТРОЛЬ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ АВСТЕНІТНИХ СТАЛЕЙ	42
3.1	Контроль малих деформацій австенітних хромонікелевих сталей магнетометричним методом	42
3.2.	Можливість контролю механічних властивостей хромонікелевих сталей визначенням магнетного стану австенітної матриці	46
3.3.	Визначення механічних властивості високоманганових сталей за сприйнятливістю χ_0 австенітної матриці	52
3.4	Автоматизована система контролю «Якість» для підприємств металургійної та машинобудівної галузі	56
4.	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	58
4.1	Планування НДР	58
4.2	Розрахунок витрат на проведення НДР	61
4.3	Розрахунок економічної ефективності НДР	66
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	68
5.1	Аналіз потенційних небезпек	68
5.2	Заходи безпеки	69
5.3	Заходи щодо забезпеченню гігієни праці та виробничої санітарії	70
5.4	Заходи з пожежної безпеки	72
5.5	Заходи щодо цивільного захисту	73
	ВИСНОВКИ.....	75
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	77
	Додаток А Номограма для контролю і прогнозування відносного звуження австенітних сталей за допомогою магнетного критерію χ_0	85

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АРМ – автоматизоване робоче місце;

АСУ – автоматизована система управління;

АСУ ТП – автоматизована система управління технологічними процесами;

ІС – інформаційна система;

ЕДУ – енергія дефекту упаковки;

ЗВ – засіб вимірювання;

ЗВТ – засіб вимірювальної техніки;

МПС – мікропроцесорна система;

НДР – науково-дослідна робота;

ПТЕЕС – Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів;

ПН – потенційна небезпека;

РМ – робоче місце;

САК – системі автоматичного керування;

ЦЗЛ – Центральна заводська лабораторія;

P_{α} – кількість феромагнетних фаз (% об'єм.);

χ_0 – питома парамагнетна сприйнятливність австеніту, м³/кг;

σ_B – тимчасовий опір розриву, МПа;

$\sigma_{0.2}$ – умовна границя текучості, МПа;

δ – відносне видовження (%) після розриву;

Ψ – відносне звуження (%) після розриву;

П – показник пластичності ($P = \sigma_{0.2} / \sigma_B$);

П₁ – показник опору деформації або Мартена-Волеса ($P_1 = (\sigma_B / \sigma_{0.2}) \cdot \delta$), %;

ρ – густина сталі.

ВСТУП

Якісний та своєчасний контроль фізико-механічних властивостей речовин сприяє підвищенню конкурентоспроможності машинобудівних підприємств. Поширеним засобом вивчення австенітних матеріалів є розгляд ґратки, форми зерен, дефектів й присутніх фаз. Основною фазою цих речовин є парамагнетний австеніт (майже 100 %), то цілком природно спробувати визначати зв'язок магнетної структури з механічними властивостями.

Атомно-магнетний стан австеніту формується за рахунок хімічного складу, термообробки, механічних впливів. Австеніт є парамагнетиком, який має відповідну електронну побудову. Параметр, який відповідає магнетному стану є питома парамагнетна сприйнятливість χ_0 , яка дорівнює сумі орбітальних та спінових моментів атомів в одиниці маси речовини при одиничному значенню магнетного поля.

Парамагнетик характеризується наявністю орієнтаційного ефекту, коли під впливом зовнішнього магнетного поля вектори магнетних моментів атомів намагається повернути вдовж напрямку цього поля. Умова ефекту, електронні оболонки атомів мають некомпенсований магнетний момент.

Відомості про зв'язок магнетного стану австеніту та механічних властивостей практично відсутні і суперечливі. Це в першу чергу обумовлено тим, що в цих дослідженнях визначали магнітну сприйнятливість сталі (а не χ_0 австеніту), яка могла містити низьку кількість ферофази. Метало- і рентгенографічні, дилатометричні методи можуть застосовуватися для речовин з малим вмістом α -фази (δ -ферит, α' -мартенсит), але їх чутливість дозволяє виявити наявність α -фази з 1...3 %. Це і призводить до помилкової інтерпретації результатів. Звідси випливає, що питання контролю прогнозування фізико-механічних властивостей австенітних сталей потребує

детальніших досліджень. При цьому важливим моментом є вибір експериментального обладнання, засобів вимірювання та методів розрахунку.

Низький вміст (0,005...0,5 %) α -фази впливає на зварювання металів, властивості, технологічну обробку. Це зумовлює пошук нових методів визначення α -фази. Також бажано виявити фізичний параметр, чутливий до впливу температури, хімічного та фазового складу. Це дозволить запропонувати новий магнетометричний метод контролю якості аустенітних матеріалів.

1. МАГНЕТНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЧОВИН

1.1 Можливості та призначення магнетних вимірювань

Магнетний вид контролю базується на аналізі взаємодії магнетного поля і об'єкта контролю.

Кількісна інформація про фізичні величини не може бути отримана тільки шляхом розрахунків, тому процес вимірювання обов'язково передбачає фізичний експеримент. Багато учених висловлювали свою думку про роль вимірювального експерименту Г.Галілей, Д.Менделєєв, В.Томсон (барон Кельвін) та ін. [1].

Зі всіх видів вимірювань особливе значення мають електромагнітні вимірювання, оскільки електричні і магнітні величини безпосередньо не сприймаються органами чуття людини. Саме тому виявлення електричних і магнетних фізичних величин, вивчення електричних і магнетних явищ, а також їх кількісне визначення можливе тільки за допомогою специфічного обладнання.

Вимірювання в цих випадках виконують за допомогою відповідних засобів вимірювальної техніки (аббревіатура ЗВТ). Ці ЗВТ контактують з об'єктом з метою отримання на їх входах зворотного сигналу, який корелює з вимірюваною величиною. Згідно до ДСТУ 2681/94 до цих ЗВТ, які наведено на рис. 1.1 [1], можливо віднести:

1. Засоби вимірювання (аббревіатура ЗВ).
2. Вимірювальні пристрої (аббревіатура ВП).

ЗВТ відповідає вимірювальне обладнання, канали для передачі і отримання даних, інформаційні порти. Специфіка цих засобів полягає в тому, що вони напряду отримують результати вимірювання.



Рисунок 1.1 – Класифікація основних засобів вимірювальної техніки

Функціональна блок-схема системи вимірювання (рис. 1.2) містить:

- 1) досліджуваній об'єкт,
- 2) вимірювальні перетворювачі.

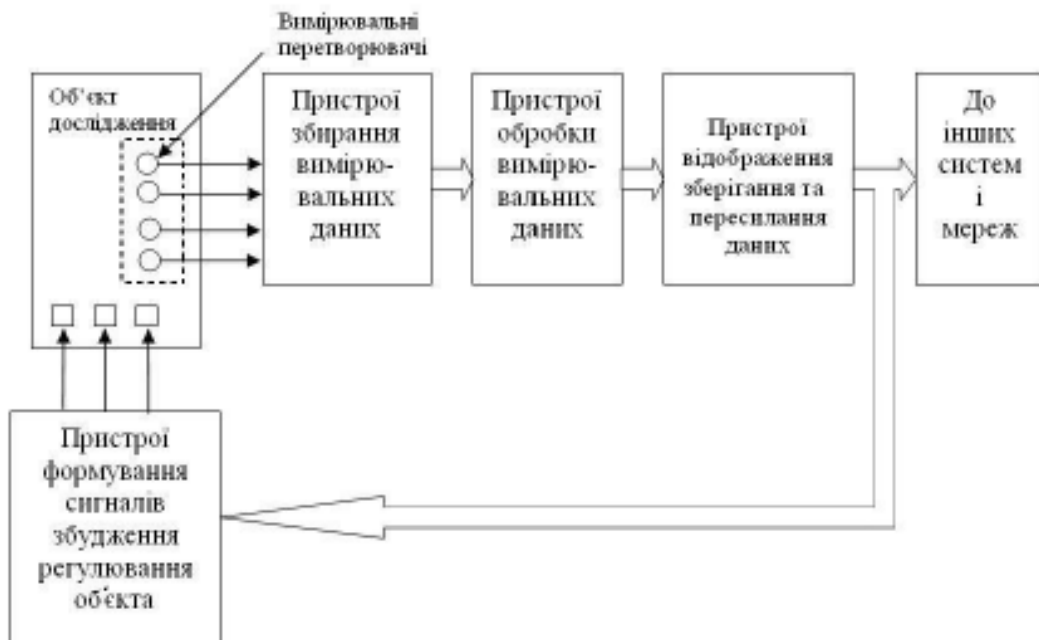


Рисунок 1.2 – Функціональна блок-схема системи вимірювання

На досліджуваному об'єкті встановлюються вимірювальні перетворювачі, сигнали з яких відповідають вимірюваним величинам. За допомогою пристроїв вихідні сигнали сенсорів перетворюються у цифрові, які пересилаються до накопичуючи пристрої. Оброблення вимірювальних даних включає: математичні та логічні операції, вихідні сигнали перетворювачів, формування сигналів збудження об'єкта, цифрове згладжування, фільтрацію та усереднення сигналів, врахування статичних та динамічних похибок).

Залежно від галузі науки, а також за фізичним принципом, покладеним в основу вимірювання, розрізняють [1]: електричні, магнітні, механічні, акустичні, оптичні, квантові, хімічні та інші вимірювання, що наведено на рис. 1.3.

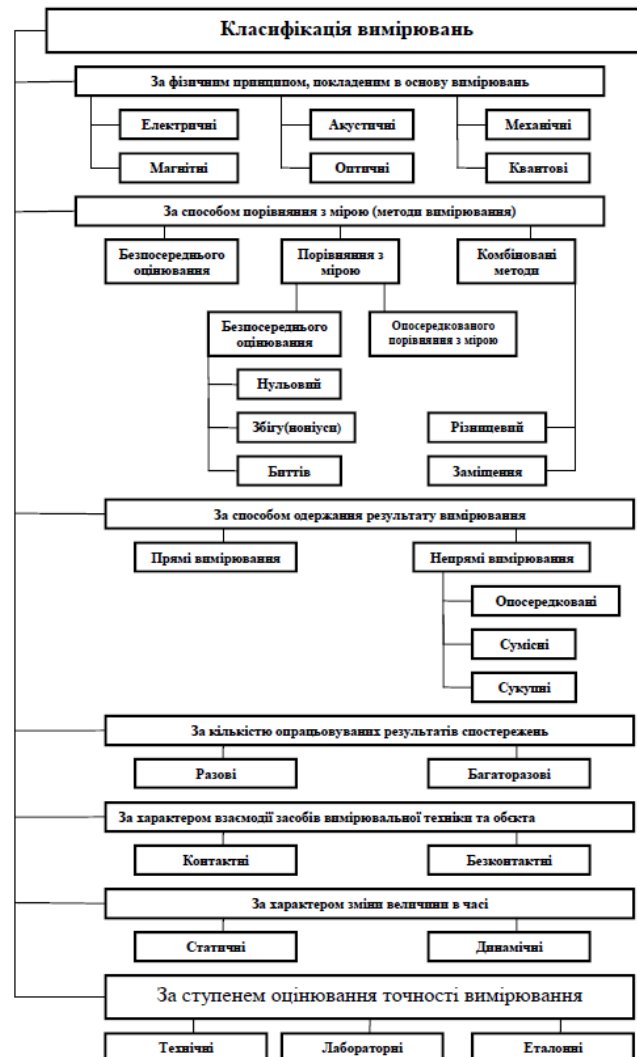


Рисунок 1.3 – Місце магнетних методів у класифікації вимірювань

Поширеними причинами аварійних ситуацій та відмов відповідальних металоконструкції є механічні пошкодження, брак будівельних або монтажних робіт, пошкодження при монтажі, порушення діючих правил експлуатації та природні катаклізми. Тому основний акцент ставиться на забезпечення високої надійності об'єктів довготривалої експлуатації, а на перший план виходить проблема визначення фактичного стану конструкційних сталей і сплавів, які використовуються в металоконструкціях.

Методи контролю стану матеріалів поділяють за типом фізичного поля, тому до найбільш поширених методів відносяться:

- 1) механічний,
- 2) магнітний,
- 3) електромагнітний,
- 4) електричний,
- 5) тепловий.

Магнетометрія феро- і слабо- (пара-, діа-) магнетних матеріалів дозволяє дослідити стан полі-, нано- і монокристалічних, аморфних матеріалів, виявити фазові переходи.

Зауважимо, що австенітні сталі є парамагнетними, що потребує надчутливість апаратних засобів та відповідних методик. Обладнання для вивчення феромагнетних матеріалів магнітними методами має відміну відрізняється. А саме, поширено операцією для контролю феромагнетних матеріалів є намагніченість. Найбільш поширено є визначення коерцетивної сили, фіксація залишкової намагніченості.

Коерцетивні методи застосовуються завдяки необхідної чутливості величини коерцетивної сили до фазових змін, а також простота застосування та можливості проведення в режимі неруйнівного контролю. За коерцетивною силою найбільш частіше визначають твердість речовин.

У випадку, коли відомо зв'язок залишкової індукції із механічними характеристиками визначаються пластичні або твердості параметри. Для

досягнення великих величин намагнічування використовується імпульсний режим..

Магнетовимірювання є привабливими для визначення різноманітних напружень та дефектів в металах. У такому способі використано ефект змін магнетного стану досліджуваних матеріалів в області структурних напружень, що відображається на доменній структурі.

Кількість ферифази в металевих виробках можливо визначати за допомогою феритометрії. Але деякі труднощі виникають в необхідності точного визначення зазору та чистоти поверхні досліджуваного зразку.

Знаходження електромагнетних параметрів речовин за впливом змінного магнетного полю є привабливим методом контролю їх структури і різноманітних характеристик. Тобто досліджується специфічна поведінка речовини в змінних магнетних полях.

Одночасне вимірювання температурних залежностей додає додаткову інформацію о процесах, що відбуваються.

Розрізняють активний та пасивний тепловій контроль. При першому відбувається нагрівання об'єкту за рахунок зовнішніх джерел. Пасивний тепловій контроль передбачає фіксацію власного випромінювання температури.

Наданий аналіз довів, що визначення фізичних характеристик та механічних параметрів металічних виробів і конструкцій магнетними методами, є привабливим та інформативним. Висока чутливість даних методів дозволяє значно розширити область їх застосування.

Магнетометрія дозволяє визначити наступні основні магнітні характеристики:

- петлю гістерезису,
- намагнетованість насичення,
- залишкові параметри то коерцитивну силу,
- магнітні властивості магнітожорстких і магнітом'яких матеріалів,
- магнітні властивості і параметри слабомагнетних (пара-, діа-) матеріалів.

Обладнання, які призначені для знаходження параметрів електромагнетного поля і магнетних властивосте (характеристик) матеріалів, мають загальну назву магнетометри.

Залежно від величини, яку вимірює магнетометр можливо застосовувати такі прилади:

- 1) ерстедметр (для знаходження напруженості поля),
- 2) градієнтметр (градієнта поля),
- 3) тесла- та веберметр,
- 4) коерцітіметр,
- 5) для визначення магнетної проникності,
- 6) каппаметр (для визначення магнетної сприйнятливості).

Магнетометр нормується (градууються) в відповідних одиницях вимірювання: (напруженості магнетного поля А/м, одиницях магнетної індукції Тл, напрямок магнетного поля - вектор та ін.).

Магнетні вимірювання використовуються у багатьох галузях [2-7]. Це обумовлює велику кількість різноманітних приладів і способів вимірювання величин. Магнетометр може бути векторним (для визначання вектору магнетного поля) або скалярним (вимірювання параметра магнетного поля по модулю). Для визначення дефектних ділянок металовиробів та дефектів металоконструкцій застосовуються векторні магнетометри, які також здатні забезпечити дистанційний контроль. Датчик такого прилада містить достатньо чутливі перетворювачі. Найбільшою чутливістю володіють СКВІД-магнетометри, а протонні і квантові магнетометри – абсолютною точністю.

СКВІД-магнетометр вимірює надслабкі магнетні поля, за рахунок перетворення магнетного потоку в електричні. сигнал постійного або змінного струму за допомогою надпровідного кільця з контактами Джозефсона, тобто задіяні квантові ефекти

1.2 Магнетометр для визначення магнетних параметрів ферромагнетних сталей і сплавів

Магнітний параметр матеріалу можливо використати для знаходження хімічного та фазового складу, кристалічної структури [8]. За допомогою магнетного аналізу можливо знайти:

- кількість карбідів;
- кількість залишкового австеніту;
- встановити температуру початку розпаду мартенситу,;
- кінетики перетворення австеніту.

При фазовому магнетному аналізу вимірюють параметри ферромагнетиків, які вони набувають у сильних магнетних полях. Важливі параметри одержують з кривої намагнетованості насичення. На рис. 1.4 наведено модулі вібраційного магнетометра [8]. Між полюсами електромагніту 4 міститься зразок 8. Рух у вертикальному напрямку забезпечує стержень 7 від вібратора 1, підведений від генератора сигналів 12. Контроль вібрації відбувається датчиком вібрації 2.

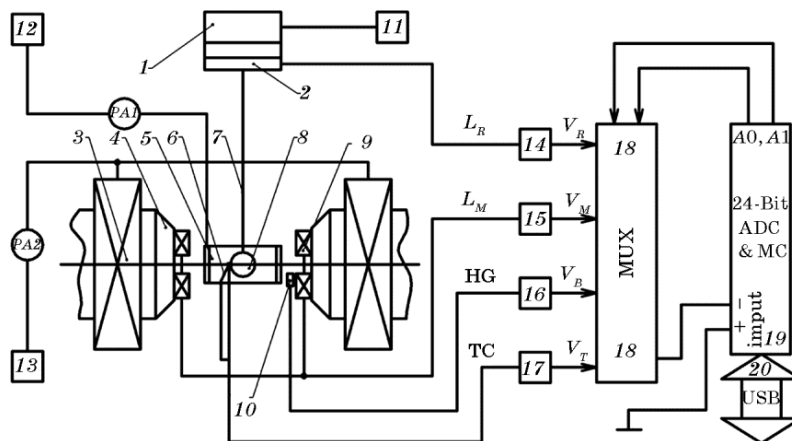


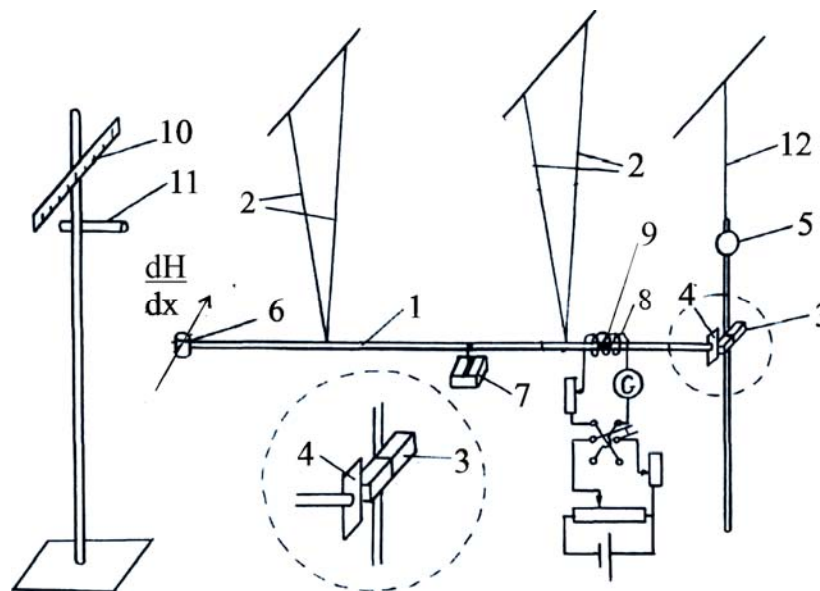
Рисунок 1.4 – Модулі магнетометра

Магнетометр здатний вимірювати петлю гістерезису, криві намагнічування та розмагнічування.

1.3 Установка та методика розрахунків для визначення магнетної сприйнятливості австенітних сталей і сплавів

Для вимірювання магнетної сприйнятливості слабомагнетних сталей та застосовують магнітометричні терези [2]. Зразок знаходиться в зоні градієнта магнетного поля. Зразок взаємодіє з магнетним полем електромагніту та зміщується по горизонталі. Існують різноманітні способи реєстрації відхилення зразка: терези з магнетним зачепленням призми [21], з фотореєстрацією [2, 22].

Магнетометричні терези з магнетним зачепленням наведені на рис. 1.5 [21, 27, 43].



1 - кварцовий стержень, 2 - біфілярі, 3 - магнетик з лезом 4, 5 - дзеркало 5, 6
ампулу для зразків; 7 – демпферна система, 8 і 9 - компенсаційна система,
10-12 освітлюючі компоненти

Рисунок 1.5 – Магнетометричні терези

Вимірюється компенсаційний струм $I_{зр}$ на компенсаційній котушці. Питому магнітну сприйнятливості визначають відносним методом за формулою:

$$\chi = \frac{I_{зр} \cdot m_{ет}}{I_{ет} \cdot m_{зр}} \chi_{ет}, \quad (1.1)$$

де $I_{зр}$ і $I_{ет}$ – струм компенсації зразка та солі Мора (еталону),
 $m_{зр}$ і $m_{ет}$ – відповідно маса зразка і еталону,
 $\chi_{ет}$ – магнетна сприйнятливість еталону.

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

$$I_{зр} = I'_{зр} \pm I_{амп}, I_{ет} = I'_{ет} \pm I_{амп}, \quad (1.2)$$

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

Для градуювання магнетометричної установки використовують стандартну речовину – сіль Мора ($\text{Fe}_2\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) [23]: для $T = 293 \text{ K}$ $\chi_{ет} = 3,23 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Так, для зразок сталі 140ХГ7 масою $m_{зр} = 147.9 \text{ мг}$ під дією поля $H = 2.55 \cdot 10^5 \text{ А/м}$ змістився і повернувся при величині компенсаційного струму $i_{зр} = 9.4 \text{ мА}$. Для солі Мора масою $m_{м} = 65 \text{ мг}$ величина компенсаційного струму $i_{м} = 3.78 \text{ мА}$. Похибка розрахунків не перевищувала 2...3%.

За допомогою виразів $i_{зр} = m_{зр} \cdot \chi_0 \cdot H \frac{dH}{dx}$, $i_{м} = m_{м} \cdot \chi_{м} \cdot H \frac{dH}{dx}$, отримаємо:

$$\chi_0 = \frac{i_{зр}}{i_{м}} \cdot \frac{m_{м}}{m_{зр}} \cdot \chi_{м} = \frac{9.4}{3.78} \cdot \frac{65.0}{147.9} \cdot 3.2 \cdot 10^{-8} \left(\frac{\text{мА}}{\text{мА}} \cdot \frac{\text{мг}}{\text{мг}} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \right) = 3.5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}.$$

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

1.4 Характеристика та застосування австенітних сталей

Австенітні сталі або сталі австенітного класу отримали назву в честь англійського вченого В.Робертса-Остіна. Австеніт – це одна зі структурних складових залізовуглецевих матеріалів, яка являє собою твердий розчин вуглецю (до 2 %) у γ -залізі. Решітка такої речовини – гранецентрована кубічна (ГЦК) зображена на рис. 1.5. Австенітні сталі, звичайно леговані хромом і нікелем (марганцем), після охолодження до кімнатної температури мають австенітну структуру, низька межа плинності, помірну міцність, високу пластичність і гарну корозійну стійкість.

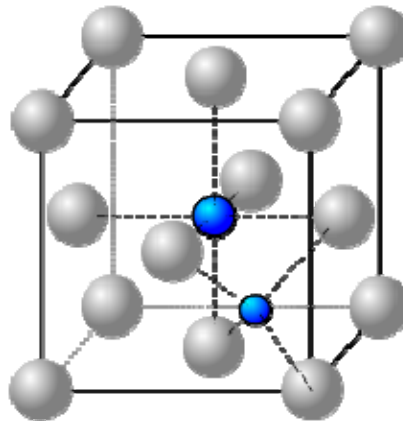


Рисунок 1.5 – Кристалічна решітка австеніту: атом заліза (більший за розміром) утворюють ГЦК решітку, а атоми вуглецю (менші за розміром) знаходяться у міжвузліях

Австенітні сталі часто називають немагнетними, проте це визначення не зовсім коректне. Всі речовини магнітні [6, 7]. Це обумовлено рухом електронів навколо ядер (орбітальний момент), а також обертанням електрона (спіновий момент). Австенітна матриця парамагнетна, але може містити феромагнітні включення, як правило дуже незначні (0,001...0,5 %). Австенітна сталь має в своєму складі 12 ... 18% хрому і нікелю 9 ... 11%, що підвищує стійкість до корозії. При додаванні більшої кількості хрому (20-25%) і нікелю (10-20%)

австенітні нержавіючі сталі не окисляються навіть при значних температурах. У таблицях 1.1, 1.2 представлені одні з найбільш поширених складів промислових вітчизняних і зарубіжних (AISI) австенітних сталей.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад (% мас) австенітних хромонікелевих сталей

№	Марка сталі	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti	N
1	12X18H10T	0.12	1.58	0.304	-	-	18.09	10.46	0.11	-	0.46	
2	10X17H9T	0.1	1.12	1.21	-	-	17.1	8.57	-	-	0.46	-
3	X18H10	0.06	1.3	0.34	0.006	0.035	17.48	9.8	-	-	0.03	-
4	10X17H12T	0.1	0.95	1.18	-	-	16.7	11.99	-	-	0.45	
5	12X15H16	0.12	1.57	0.95	0.01	0.03	14.87	15.54	0.17	0.22	-	
6	AISI 304	0.07	1.23	0.22	0.001	0.027	17.96	9.34	-	-	-	0.05
7	AISI 321	0.04	1.66	0.54	0.001	0.026	17.10	9.10	-	-	0.32	0.01

Таблиця 1.2 – Хімічний склад (% мас.) австенітних високоманганових сталей

№	Марка сталі	C	Mn	Si	S	P	Cr	Al
1	110Г8Л	1.34	8.43	0.8	0.014	0.092	0.06	0.02
2	110Г8Л	1.14	8.6	0.66	0.04	0.088	0.1	0.02
3	110Г10Л	1.24	9.75	0.48	0.017	0.092	0.1	0.02
4	110Г13Л	1.35	12.91	0.76	0.009	0.09	0.18	0.02

Австенітні сталі є найбільш часто використовуваними в харчовій, будівничій, електроенергетичної та транспортної галузях. В хімічній промисловості широко застосовується сталі AISI 304, властивості яких \ стабільними при різноманітних температурах. З точки зору технологічності, ця марка сталі сталь зберігає задані властивості тривалий час [44].

2. АВТОМАТИЗОВАНА УСТАНОВКА ТА МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ МАГНЕТНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ АВСТЕНІТНИХ СТАЛЕЙ

2.1 Аналіз параметрів, які визначають якість австенітних сталей

2.1.1 Оцінка якості сталей способом визначення різноманітних механічних і службових показників

Сукупність фізичних, хімічних і технологічних властивостей визначають якість сталей і виробів з них. Залежно від наявних властивостей визначається галузь застосування і відповідна марка чи класифікація. Майбутні властивості багато в чому визначається кінцевим хімічним складом, фазово-структурним складом, методами обробки (термообробка, механічна і ін.).

Для оцінки якості сталі використовуються два підходи. У першому випадку експериментальним шляхом знаходиться конкретний механічний (твердість, ударна в'язкість, зносостійкість, границя міцності та ін.) або службовий (наприклад, швидкість корозії) параметр, який потім ставлять у відповідність конкретному ДСТУ або технічному завданню (вимозі замовника).

Цей підхід було реалізовано за допомогою наступних експериментальних методів та обладнання [43].

Дослідження мікроструктури виконували на растровому електронному мікроскопі РЕМ-1061. Мікротвердість структурних складових визначали методом Віккерса на твердомірі ПМТ-3 (ГОСТ 9450-76). Випробування на розрив виконували на УРМ-50. Границю міцності σ_b при розтягуванні на розрив, відносні видовження δ і звуження поперечного перерізу ψ після розриву визначали за ГОСТ 1497-84 [43].

За показники механічних властивостей брали середні значення результатів (4...6 випробувань). Похибка експериментів при надійності 0,9 не перевищує 5 %.

Відносну зносостійкість після ударно-абразивного зношування визначали в кульовому млині за втратою маси відповідно еталонного ($\Delta m_{\text{ет}}$) і досліджуваного ($\Delta m_{\text{дос}}$) зразків: $K = \Delta m_{\text{ет}} / \Delta m_{\text{дос}}$. Як еталон використовувалася сталь 20 зі твердістю НВ 126.

Більша частина досліджень механічних властивостей австенітних сталей була виконана на обладнанні кафедри «Прикладна фізика» НУ «Запорізька політехніка».

Визначення кожного механічного параметру потребує час, кваліфікований персонал, специфічного обладнання. Так, виготовлення зразків для визначення механічних властивостей трудомісткий процес, а випробування в кульовому млині може тривати декілька тижнів. Це досить ускладнює оцінку якості сталей у режимі реального часу, як того вимагає сучасне виробництво.

Дослідження магнетних властивостей австенітних сталей є перспективним науково-практичним напрямком для контролю якості цих сталей. Використання питомої парамагнетної сприйнятливості χ_0 аустеніту, як комплексного параметра для оцінки якості сталей, дозволяє скоротити час випробувань, яке має місце при класичному підході.

2.1.2 Оцінка якості сталей способом визначенням одного фізичного показника

Основним недоліком розглянутого в попередньому розділі підходу є неможливість відкоригувати або поліпшити якості сталі, тобто має місце «констатація факту». Для металургійного підприємства дуже потрібним є можливість коригування якості металу ще до стадії основний плавки. Робиться контрольна вилівка, з якої в режимі реального часу (або в мінімальні терміни, щоб не порушити технологічний процес) визначається фізична величина

(параметр), за якою можливо оцінити загальний стан сталі або сплаву. Проблема буде вирішена, якщо буде доведений взаємозв'язок цього параметра з механічними і службовими властивостями австенітної сталі.

Оскільки основною фазою в цих сталях є австеніт, то властивості і будуть визначатися в першу чергу саме станом австеніту (або австенітною матрицею, яка містить легуючі елементи). Саме стабільність австеніту і буде визначати наявність і незмінність фізико-механічних та службових властивостей, а отже і якість сталі і виробів з неї. Таким чином, в основі другого походу до контролю якості лежить використання універсального критерію стабільності австеніту.

Основними впливами, які відчують металоконструкції з австенітних сталей є температура і механічне напруження (деформація). Основним фазовим перетворення, яке може мати місце під впливом цих факторів, є мартенситне перетворення (МП). Отже, в якості критерію стабільності (або показника) буде розглядатися стабільність по відношенню до МП.

У промисловості більш привабливим є використання сталей зі структурою стабільного австеніту. На теперішній час запропоновані наступні критерії стабільності австеніту [9, 10]:

1. Критерії (індекси стабільності), які безпосередньо пов'язують стабільність австеніту з хімічним складом сталі, тобто залежать від вмісту легуючих елементів. Ці індекси були отримані за експериментальними даними магнетних досліджень на різних зразках австенітних сталей: умовно-безрозмірний індекс Δ ; температурний індекс; енергія дефектів упаковки.

1.1) Умовно-безрозмірний індекс Δ

$$\Delta = \%Ni + 0,5\%Mn + 35\%C - 0,083(\%Cr + 1,5 \%Mo - 20)^2 - 15 \quad (2.1)$$

Індекс Δ вивели С.В. Post і W.S. Eberly [9], він представляє відмінність між реальним вмістом нікелю в сталі і теоретичним вмістом, яке дозволяє

отримати стабільний австеніт. Значення індексу повинно бути позитивним, якщо австеніт стабільний.

1.2) Температурний індекс

$$M_{d30} = 413 - 462(\%C + \%N) - 9,2\%Si - 8,1\%Mn - 13,7\%Cr - 9,5\%Ni - 18,5\%Mo \quad (2.2)$$

Індекс M_{d30} був виведений Т. Angel [10] і являє собою температуру, при якій формується 50% мартенситу при 30%-ої деформації. Ця температура тим нижче, чим вищий вміст легуючих елементів.

Мартенситне перетворення, викликане деформацією, в австенітних сталях може розвиватися, якщо деформацію проводять нижче температури M_d . Таким чином, положення температури M_d виступає умовним показником стабільності австеніту [11].

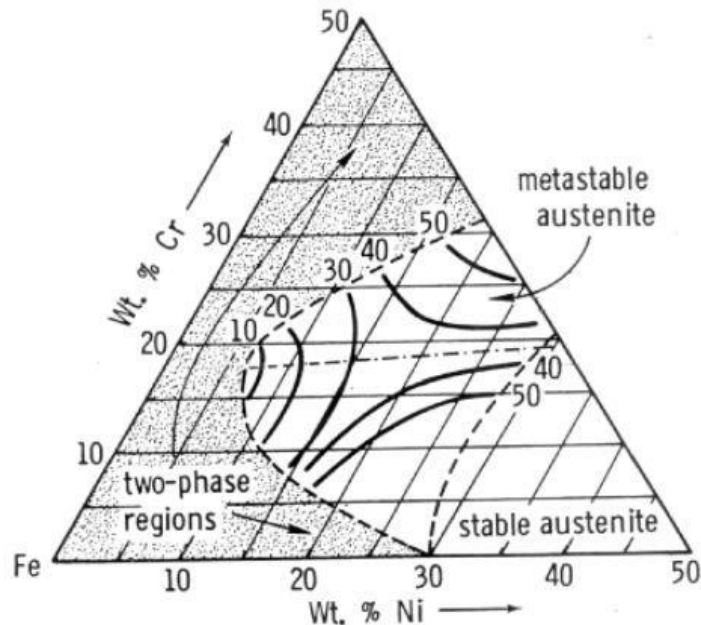
1.3) Енергія дефектів упаковки

Між енергією дефектів упаковки (ЕДУ) і мартенситним перетворенням існує зв'язок: стабільність австеніту тим вище, чим більше ЕДУ [12]. Чим нижче енергія дефектів упаковки австеніту, тим менше схильність розщеплених дислокацій до поперечному ковзанню, тим вище неоднорідність розподілу дислокацій при пластичній деформації, тим більше утворення скупчень дислокацій, біля яких виникають потужні поля напружень [13].

R. Schramm і R. Reed [14] в 1975 р вивели для коррозійно-стійких австенітних сталей наступне співвідношення:

$$E_{DU} \text{ (мДж/м}^2\text{)} = -53 + 9,3Mo + 6,2Ni + 3,2Mn + 0,7Cr \quad (2.3)$$

Пізніше С. Rhodes і А. Thompson [15] показали, що дане співвідношення є дуже приблизними. Зважаючи на складність лінійного уявлення залежності для всіх сплавів автори запропонували використовувати потрійну діаграму Fe-Cr-Ni з ізолініями величин ЕДУ (рис. 2.1).



Рисунком 2.1 – Потрійна діаграма Fe-Cr-Ni з проведеними ізолініями величин ЕДУ (мДж/м²) при кімнатній температурі для сталей з 0,1% С [15]

Для австенітних сталей ЕДУ змінюється майже лінійно в інтервалі температур від -200 °С до 100 °С, на підставі чого автори роботи [16] запропонували наступне співвідношення:

$$(ЕДУ)_T = (ЕДУ)_{T_0} + A(T - T_0), \quad (2.4)$$

де $(ЕДУ)_T$ и $(ЕДУ)_{T_0}$ – де ЕДУ при температурі T і T_0 відповідно, температура T_0 вихідна, яка в загальному випадку є кімнатній,

A – коефіцієнт хімічного складу матеріалу.

Результати показали величину $ЕДУ = 30$ мДж/м² для австенітної сталі Cr-Ni (18-12), зміна цієї енергії з температурою становить 0,05 мДж / (м²·°С).

Унаслідок різних можливих взаємодій між легуючими елементами в сталі важко визначити дійсне значення ЕДУ.

Так, в роботі [17] для сталей Fe-Cr-Ni з хімічним складом: $0,003 < N < 0,006$, $10 < Cr < 30$, $10 < Ni < 20$, $C < 0,036$ виведено наступне співвідношення:

$$\text{ЕДУ} = 4 + 18\%Ni - 0,2\%Cr + 410\%C \quad (2.5)$$

Для сталей, що містять $N < 0,12$; $10 < Cr < 20$; $10 < Ni < 20$; $0,01 < C < 0,15$ запропоновано співвідношення:

$$\text{ЕДУ} = 34 + 1,4\%Ni - 1,1\%Cr - 77\%N \quad (2.6)$$

Автори підкреслюють, що вуглець збільшує ЕДУ, азот, навпаки, зменшує, пояснюючи цей вплив різним розташуванням дислокацій в сплавах, легованих даними елементами. Вплив Nb і Mn на ЕДУ розглянуто в роботі [18] на прикладі сталей Fe69.5Cr13.5Ni12 і Fe65.5Cr17.5Ni12. Показано, що додавання атомного відсотка Mn викликає зміна в $-2,3 \text{ мДж/м}^2$. Впливу Nb на величину ЕДУ авторами не встановлено.

2. До другої групи критеріїв відноситься розрахунок середньої кількості електронів на зовнішніх електронних оболонках (або електронних дірок) \bar{N}_v , що лежить в основі методу Факомпа [19]. У загальному випадку, вибір критичного значення здійснюється емпіричним шляхом для кожної групи сплавів індивідуально. В якості критичного приймають значення $\bar{N}_v \leq 2,45-2,50$.

2.1) Середня кількість електронів на зовнішніх електронних оболонках:

$$\bar{N}_v = \sum C_i N_{vi} \quad (2.7)$$

де N_{vi} – кількість електронів на зовнішніх електронних оболонках для i -го компонента; C_i – атомна частка i -го компонента.

3. Третя група критеріїв стабільності австеніту представлена емпіричної формулою балансу легування жароміцних нікелевих сплавів, що характеризує граничну спільну розчинність елементів заміщення в нікелевої матриці [20]:

3.1) Показник дисбалансу легування ΔE :

$$\Delta E = \sum E_i C_i - (0,036 \sum A_i C_i + 6,28) \quad (2.8)$$

де ΔE – показник дисбалансу легування; A_i і E_i – відповідно атомна маса і кількість sd -електронів i -го компонента; C_i – атомна частка i -го компонента. Критерій стабільності австеніту: $-0.02 \leq \Delta E \leq 0.02$. Значне відхилення ΔE від нульового значення свідчить про метастабільний (або нестабільний) стан системи і можливих фазових перетвореннях.

Слід зауважити, що не один з розглянутих показників не враховує вплив попередніх факторів, а саме температури (гарт, нагрів) і деформації (стиснення, розтягнення, кручення). Але будь-яка металоконструкція включає деформовані ділянки, а отже, їх теперішній стан вже може відрізнитися від вихідного.

2.1.3 Оцінка якості сталей способом визначенням питомої парамагнетної сприйнятливості χ_0 австеніту та малої кількості α -фази

Сучасні металургійні та машинобудівні підприємства потребують ефективних контролюючих методів якості австенітних матеріалів [43]. Класичний підхід передбачає металографічні та механічні випробування.. Але бажано застосовувати тільки один параметр, визначення якого є зручним та не затратним в порівнянні з механічними випробуваннями та більш коректним ніж

індекс стабільності або визначення енергії дефектів упаковки.

Більшу частину цих речовин складає парамагнетний австеніт, який характеризується парамагнетною сприйнятливістю χ_0 , яка визначається сумарним магнетним моментом одиниці маси австеніту за умови одиничного значення магнетного поля). χ_0 є чутливим до зовнішніх факторів. Зауважимо, що параметр χ_0 є комплексною характеристикою аустеніту, стан якого сформувався внаслідок наявних хімічних елементів, механічних та температурних дії). Відомості, які наведено в літературі стосуються магнетної сприйнятливості χ зразка сталі (а не χ_0), яка може містити поряд з аустенітом ще і α -фазу (яка феромагнетна). Наявність ферофази ускладнює визначення χ_0 , однак існують методики, що дозволяють з експериментальним значенням χ сталі знайти χ_0 австеніту. Можливі варіанти наявності фаз зведені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Вплив присутніх фаз на процедуру знаходження питомої парамагнетної сприйнятливості χ_0 австеніту

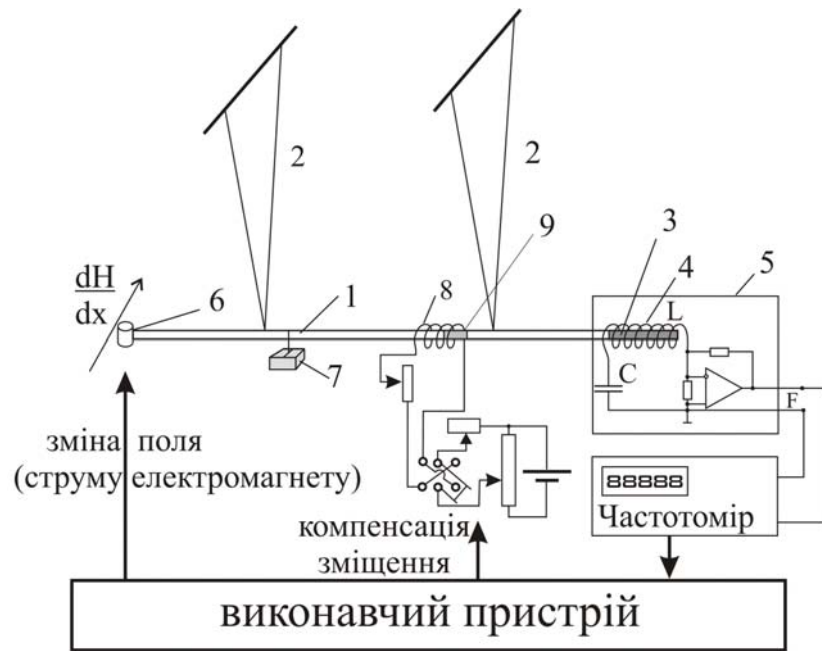
№	Присутні фази	Магнетний стан сталі	Вимірювання	Визначення χ_0
1	Австеніт (γ)	парамагнетний	χ_0 $\sim 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$	$\chi_0 = \chi$
2	Австеніт + ϵ -мартенсит	парамагнетний	$\chi = f(\chi_0, \chi_\epsilon)$, $\sim 10^{-9} \dots 10^{-8}$ $\text{ м}^3/\text{кг}$	Термодинамічний розрахунок, $\chi_0 > \chi_\epsilon$; $\chi < \chi_0$
3	Австеніт + α -фаза (α' -мартенсит, δ -ферит, феромагнітні карбіди)	парамагнетний австеніт + ферофаза	$\chi = f(\chi_0, \chi_\alpha)$, $\sim 10^{-8} \dots 10^{-7}$ $\text{ м}^3/\text{кг}$	Методом екстраполяції $\chi_\infty(P_\alpha)$, $P_\alpha \sim 0,001-0,5\%$
4	Австеніт + ϵ -мартенсит + α -фаза	парамагнетний австеніт + парамагнетний ϵ -мартенсит + ферофаза	$\chi = f(\chi_0, \chi_\epsilon, \chi_\alpha)$, $\sim 10^{-9} \dots 10^{-7}$ $\text{ м}^3/\text{кг}$	Термодинамічний розрахунок; методом екстраполяції $\chi_\infty(P_\alpha)$, $P_\alpha \sim 0,001-0,5\%$

Наявність α -фази наднизька, так що деякі методи її не визначають. Однак ігнорування, нехай навіть малої кількості ферофази, однозначно призведе до помилкового результату при знаходженні парамагнетної сприйнятливості χ_0 австеніту.

Останнім часом з'явилися наукові роботи, присвячені взаємозв'язку магнетного становища австеніту і фізико-механічних властивостей [24, 25, 26]. Отже, пошук нових методів контролю механічних властивостей австенітних сталей, які корелюють зі атомно-магнетним станом (χ_0) австеніту, за відсутністю або наявністю α -фази (феромагнітні карбіди, δ -ферит та α -мартенсит), потребує подальших експериментальних підтверджень.

2.2 Автоматизована установка для визначення питомої магнетної сприйнятливості австенітних сталей

Для автоматизації було обрано магнетометричні терези з механічним зачепленням призми. Автоматизації підлягала реєстрація величини зсуву зразка від вихідного положення під дією зовнішнього магнетного поля [27]. Автоматизована магнетометрична експериментальна обладнання наведена на рис. 2.2. Зміна частоти LC-генератора використана для визначення зсуву стержня, та виконується безконтактним методом. Осердя 3 котушки індуктивності 4, яке розташовано на стержні 1, і є датчиком зсуву зразка. Силовий магнит формує поле з напруженістю до 10^6 А/м.



1 – кварцовий стержень, 2 – біфілярні розтяжки, 3 – осердя котушки індуктивності, 4 – котушка індуктивності, 5 – LC-генератор, 6 – ампула для зразків; 7-9 – демпферна система

Рисунок 2.2 – Автоматизована магнетометрична установка

МПС керує зміною напруженості магнетного поля між наконечниками електромагніта. Також МПС визначає зсув стержня від вихідного (рівноваги) положення та посилає сигнал на котушку 8, яка виконує роль компенсатора. Функціональна блок-схема автоматизованого обладнання та алгоритм проведення експерименту зображені на рис. 2.3 і 2.4.

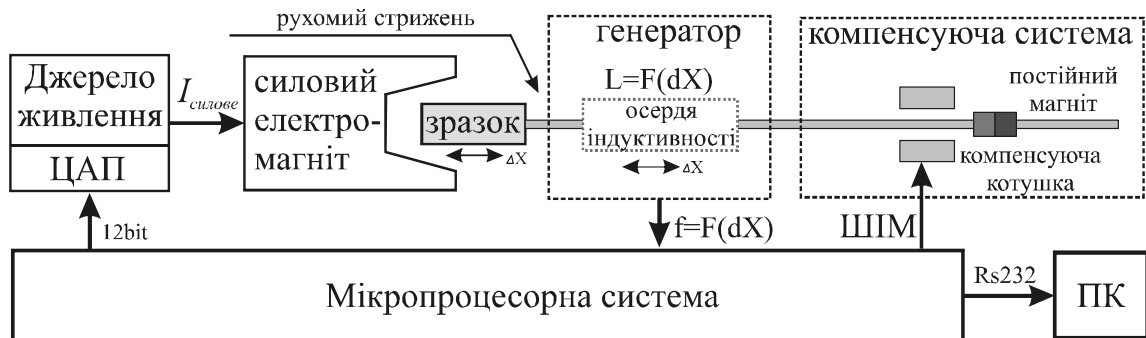


Рисунок 2.3 – Функціональна блок-схема установки

Для створення мікропроцесорної задіяні мікроконтролер AVR фірми ATMEL. Функціональне призначення МПС:

- 1) автоматична зміна струму на обмотках силового магніту,
- 2) знаходження струму обмотки котушки для компенсації зсуву зразка,
- 3) передача даних на ПК.

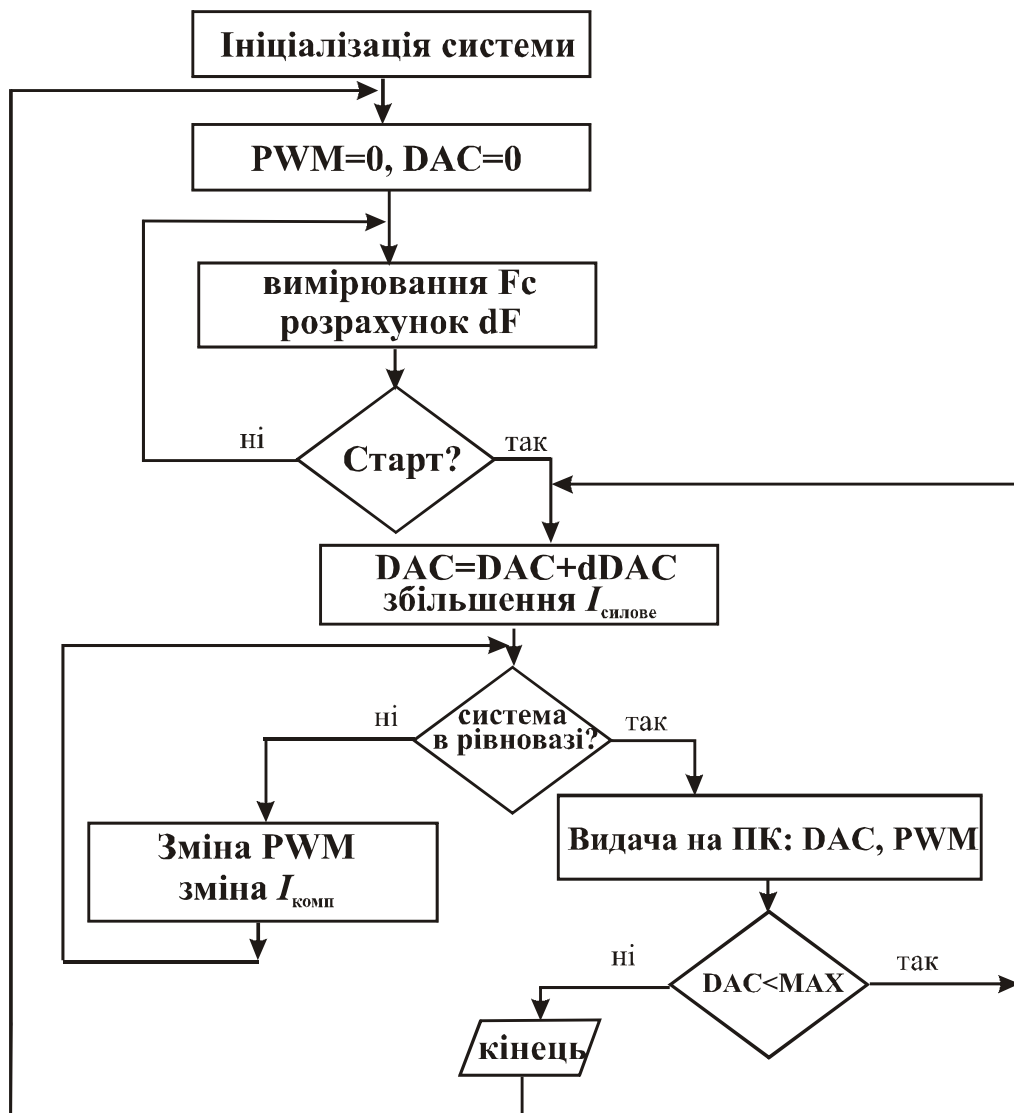


Рисунок 2.4 – Алгоритм проведення експерименту під управлінням мікропроцесорної системи для контролю процесу вимірювання сприйнятливості

На рис. 2.5 наведено інтерфейс користувача.

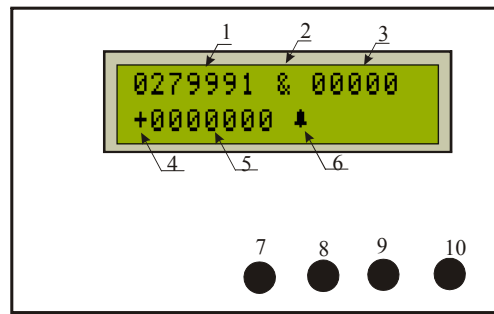


Рисунок 2.5 – Інтерфейс користувача

Установка дозволяє в автоматичному режимі отримувати значення струму компенсації зсуву зразка залежно від струму силового магніту у вигляді файлу на ПК. Час вимірювання складає 5...10 секунд.

2.3 Модель контуру системи регуляції температури

Модель перетворення значення температури в сигнал ШІМ-контролера [47] (виконує функції контуру зворотного зв'язку) формує значення струму в нагрівальному елементі (рис. 2.6).

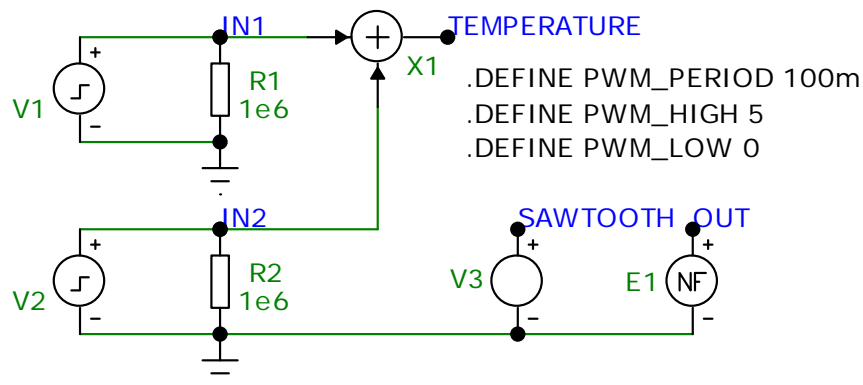


Рисунок 2.6 – Модель контуру зворотного зв'язку в САК

Модель побудовано на базі прогамованих поведінкових елементів, в яких прописано логіку функціонування, резистори та заземлення контурів. Сума сигналів імітує траєкторію зміни температури. Поточне значення

температури перетворюється на вихідну напругу ШІМ згідно логічної функції умовного переходу:

$$\text{IF}(V(\text{TEMPERATURE}) \geq V(\text{SAWTOOTH}), \text{PWM_LOW}, \text{PWM_HIGH}) \quad (2.9)$$

Потрібні граничні значення величин, період ШІМ-і SAWTOOTH сигналів (PWM_HIGH, PWM_LOW, PWM_PERIOD) вказані в командних операторах .DEFINE. На рисунку 2.7 наведено результати моделювання, а саме етапи контролюючого швидкого охолодження та етап повільного нагрівання. Верхній графік – епюр зміни температури. Нижній графік – епюр згенерованого ШІМ-сигналу. Для покращення сприйняття інформації, тривалості процесів зміни температури зменшено в 1000 разів.

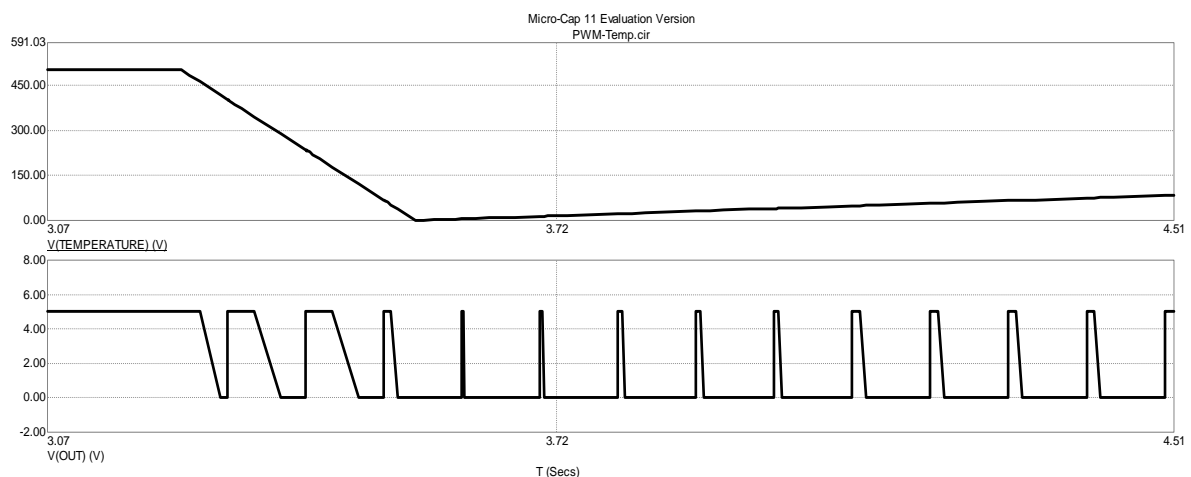
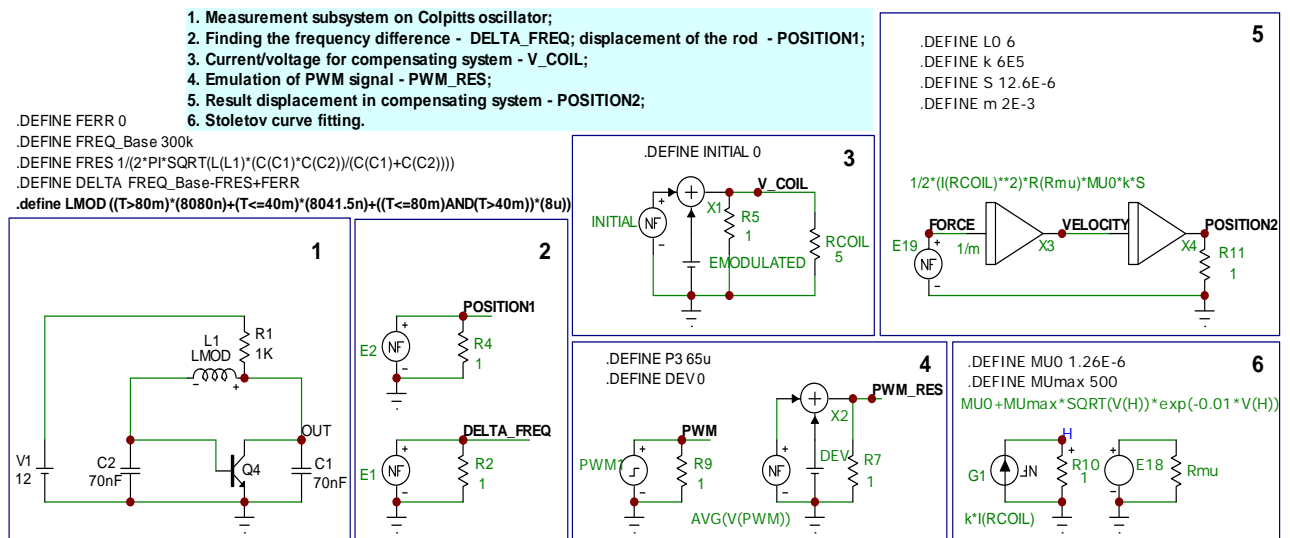


Рисунок 2.7 – Графічне відображення моделювання контуру
«Температура-ШІМ регулятор»

2.4 Моделінг автоматизованої системи для вимірювання магнетної сприйнятливості

Магнетна сприйнятливість має високу інформативність що до структурного стану матеріалу. В установці використовуються шкали з реєстрацією нульового положення на основі визначення частоти зміни LC-

генератора. Керування експериментом здійснюється мікропроцесором [48]. Під час проектування цієї системи було проведено моделювання (за допомогою Micro-Cap 11), це дозволило автоматизувати та підвищити точність під час вимірювання магнетної сприйнятливості. Метою моделювання є визначення параметрів якості системи (стійкість, динамічні характеристики, чутливість) та вибір напрямів її параметричної оптимізації. Розроблена модель елементів наведена на рис.2.8.



Підсистеми: 1 – вимірювальна, 2 – для знаходження різниці частот і зміщення стержня, 3,4 – генератор, емуляція ШІМ-сигналу, 5 – компенсуюча, 6 – встановлення кривої намагнічення

Рисунок 2.8 – Модель та підсистеми автоматизованої вимірювальної системи

Моделювання вимірювальної системи виконано в рамках багатодоменної парадигми моделювання, що дозволяє досліджувати широкий спектр нелінійних характеристик. Розроблена модель відповідає критеріям адекватності та ефективності.

2.5 Оптимізація методики проведення вимірювань для визначення параметрів магнетного стану

Вимірювання магнетної сприйнятливості австенітних сталей належить до спільних та непрямих вимірювань [30]. Непрямі – це такі вимірювання, коли вимірювана величина знаходиться за формулою, в яку входять величини, знайдені шляхом прямих вимірювань. В нашому випадку вимірюється струм компенсації (див. формулу 1.1) для повернення зразка, який змістився під дією силового магнетного поля в вихідне (нульове положення). Спільні вимірювання складаються з вимірювань декількох величин в умовах, що змінюються і подальшого визначення залежності між цими величинами.

Для розрахунку малої кількості ферофаз P_α необхідно визначення результуючої сприйнятливості χ_∞ (отримуємо методом екстраполяцією експериментальної залежності $\chi(1/H)$) та P_α (пропорційна тангенсу нахилу залежності $\chi(1/H)$). Для універсальності залежність $\chi(1/H)$ позначимо як $Y(X)$, χ_∞ – літерою « B », тангенс кута нахилу $\chi(1/H)$ – літерою « A ». Для визначення величин у вигляді нахилу (A) отриманої прямої $Y(X)$ та точки перетину (B) з віссю координат задіємо процедуру лінеаризації залежності $Y(X)$ (рис. 2.9).

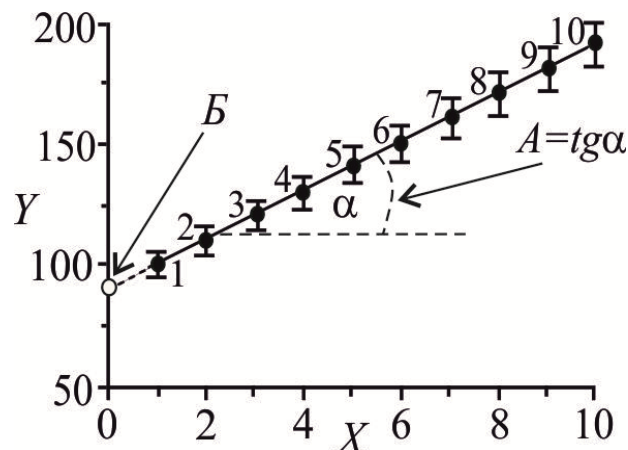
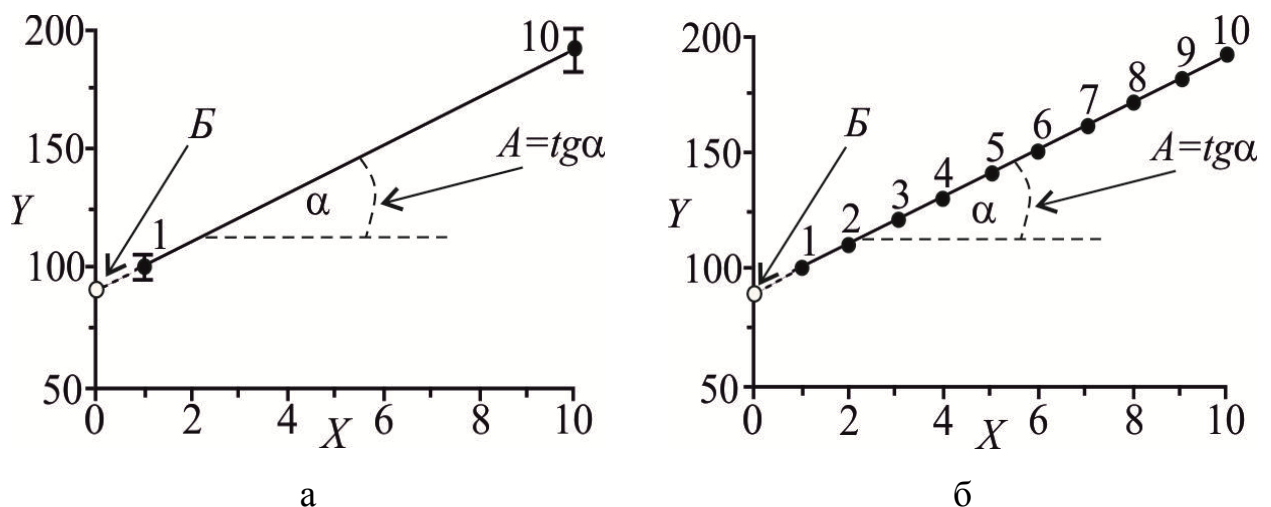


Рисунок 2.9 – Знаходження параметрів A і B з лінеаризації залежності $Y(X)$, яка складається з усереднених значень отриманих багаторазовим вимірюванням кожної точки №1...10 (номер точки – число біля маркеру)

Залежність $Y(X)$, яка потрібна для визначення величин A і B , може отримати чотирма варіантами:

1. Вимір по 5 раз кожної точки (№ 1...10), всього 50 вимірювань (рис.2.9).
2. Вимір по 5 раз точок №1 і №10, всього 10 вимірювань (рис. 2.10 а).
3. Вимір по 5 раз точок №5 і №6, всього 10 вимірювань.
4. Вимір по 1 разу кожна точку №1...10, всього 10 вимірювань (рис.2.10б).

Найбільш точним, але і трудомістким, для знаходження A і B є варіант 1. Однак час, необхідний для проведення такої кількості вимірювань з їх подальшою обробкою, може бати критичним, якщо експеримент здійснюється в змінюваному режимі, наприклад при зміні температури (нагрівання) з великою швидкістю. Варіант 2 є кращим за варіант 3, тому що лінеаризація по внутрішнім точкам (№5 и №6) діапазону призведе до більшої похибки величин A і B . Отже необхідно оцінити перевагу варіанту 2 або варіанту 4.



а – багаторазове вимірювання двох точок: №1 і №10;

б – одноразове вимірювання десяти точок: №1...10 (б)

Рисунок 2.10 – Визначення параметрів A і B за допомогою лінеаризації експериментальної залежності

Комп'ютерне моделювання експерименту було виконано за допомогою

генератора випадкових чисел, що входить до Excel [30]. Початкові і граничні умови чисельного експерименту наступні. Передбачалося, що істинне значення залежності $y_i(x_i)$ має вигляд: 100(1), 110(2), 120(3), 130(4), 140(5), 150(6), 160(7), 170(8), 180(9), 190(10). Цієї залежності $y_i(x_i)$ відповідають дійсні значення $A=10$ і $B=90$. Для генерації використовувалася функція СЛУЧМЕЖДУ, яка повертає випадкове число, що знаходиться в діапазоні між двома заданими числами. Величина відхилення була задана в розмірі 5%, тобто інтервал (min, max) для точки №1 був (95, 105), для точок №2 (104.5, 115.5) і т.д.

Для варіанту 2 було згенеровано по п'ять значень для точок №1 і №10. За середнім значенням $\bar{y}_1(x_1)$ і $\bar{y}_{10}(x_{10})$ складено лінійний тренд та визначені значення A і B .

Для варіанту 4 було згенеровано по одному значенню для точок №1...10. За значеннями $y_i(x_i)$ побудовано лінійний тренд і знайдені значення A і B . Дана процедура виконувалась 3 рази. Для варіанту 2 отримано: $A_{\text{ср}} = 9.7$, похибка 3.03 %; $B_{\text{ср}} = 91.57$, похибка 1.74 %. Для варіанту 4: $A_{\text{ср}} = 9.93$, похибка 0.67 %; $B_{\text{ср}} = 90.2$, похибка 0.22 %. Обидва варіанта є прийнятними оскільки похибка нижче критерію у 5%. Однак варіант 4 є більш прийнятним зо меншої похибки.

Отже, для фізичних процесів із змінним станом (в нашому випадку насичення зразка в магнетному полі, безперервний нагрів) обґрунтована методика проведення вимірювань. Запропонована методика дозволяє уникнути процедури стабілізації процесу для багаторазового вимірювання (фіксовані умови) і проводити одноразове вимірювання (ансамблю величин) не призупиняючи процес. Методика узгоджується з відомою гіпотезою, а саме ергодичною, яка використовується в статистичній фізики, у випадку заміни процедури усереднення величин відповідним усередненням по ансамблю.

Розглянута методика доповідались автором даної роботи на X Ювілейної Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій» [30].

2.6 Методика визначення малого вмісту α -фази

Для визначення кількості ферофази (α -фази) в об'ємних відсотках використовували наступну формулу [33]:

$$P_{\alpha} = \frac{\sigma_m}{\sigma_{\alpha}} \cdot 100\% = \frac{[\chi - (\chi_0 + \chi_p)] \cdot H}{\sigma_{\alpha}} \cdot 100\% = \frac{[\chi - \chi_{\infty}] \cdot H}{\sigma_{\alpha}} \cdot 100\%, \quad (2.10)$$

де σ_m – феромагнетна складова намагнетованості насичення зразку з α -фазою у кількості x % ((А·м²)/кг);

σ_{α} – намагнетованість насичення зразку, який містить α -фазу в кількості 100 % ((А·м²)/кг);

χ – загальна магнетна сприйнятливості зразку;

χ_0 і χ_p – парамагнетна і парапроцесна складові питомої сприйнятливості австеніту і α -фази зразку;

$\chi_{\infty} = \chi_0 + \chi_p$ – результуюча питома магнетна сприйнятливості;

H – напруженість магнетного поля.

Величину χ в області полів насичення визначали експериментально на магнетометричних терезах [21, 45]. За експериментальними лінійними залежностями $\chi(1/H)$ визначали χ_{∞} методом екстраполяції ($H \rightarrow \infty$, $1/H \rightarrow 0$) і за вказаною вище формулою – кількість ферофази в об'ємних відсотках.

Для визначення питомої намагнетованості σ_{α} феромагнетної α -фази використовували формули С.Д. Ентіна [34], О.П. Гуляєва і І.Б. Черненко [35].

Питому магнітну сприйнятливості австеніту χ_0 , або намагнетованість σ_0 австеніту визначали з графічної залежності $\chi = f(P_{\alpha})$, або $\sigma = f(P_{\alpha})$ при екстраполяції $P_{\alpha} \rightarrow 0$ [32, 36]. Якщо (2.10) привести до вигляду (2.11), то формула (2.7) при $P_{\alpha} \rightarrow 0$ ($\chi_p = 0$) для постійного H набуває вигляду $\chi = \chi_0$.

$$\chi = \frac{P_{\alpha} \sigma_{\alpha}}{H} + \chi_0 + \chi_P, \quad (2.11)$$

Значення χ_0 можна також знайти за графічними залежностями $\chi(P_{\alpha})$ [37]. При продовженні прямих до перетину з віссю ординат ($P_{\alpha} \rightarrow 0$, $\chi_P \rightarrow 0$), одержано числове значення питомої магнетної сприйнятливості χ_0 . Нахил прямих обумовлений пропорційною залежністю загальної сприйнятливості χ від кількості феритної складової P_{α} . При цьому рівняння (2.11) набуває вигляду:

$$\chi = \frac{P_{\alpha} \cdot \sigma_{\alpha}}{H} + \chi_{\infty}. \quad (2.12)$$

Одержані значення χ_0 можна знайти аналітично [37]:

$$\chi_0 = \frac{P_2 \cdot \chi_1 - P_1 \cdot \chi_2}{P_2 - P_1}. \quad (2.13)$$

Магнітну сприйнятливість χ визначали за допомогою магнетометричної установки (терези Фарадея) [21], при цьому була вдосконалена апаратна частина і автоматизована процедура управління експериментом з використанням мікропроцесорної системи [45]. Для розрахунку вмісту α -фази була розроблена та створена відповідна комп'ютерна інформаційна система.

2.7 Комп'ютерне моделювання фізичних параметрів хромонікелевих сталей

Хімічний та фазовий склад, кристалічна структура визначають властивості речовини. Найбільш ефективним способом мінімізувати витрати на експериментальне дослідження і оцінити прийнятність використання матеріалів

в різних конструкціях, деталях і механізмах є моделювання властивостей. «JMatPro», «Termo-Calc», «CALPHAD», «FactSage», «MTDATA», «PANDAT» [49]. «MatCalc» є найбільш поширеним програмним забезпеченням в області моделювання і прогнозування властивостей сталей і сплавів. Більш глибоке дослідження властивостей і отримання нових матеріалів в значній мірі впливають на межі застосування цих програмних комплексів. Проте є і обмеження, так інформація про магнітні властивості хромонікелевих сталей в програмі «JMatPro» є недостатньо повною.

Отримані значення магнетних властивостей (питомої магнетної сприйнятливості австеніту) хромонікелевих сталей і формули для розрахунку енергії дефектів упаковки були введені в базу даних розробленого програмного комплексу «Аустен», що дозволило проводити термодинамічний аналіз і виявляти наявність, утворення та зникнення фаз (австеніту, фериту, карбідів, мартенситу) в процесі температурного або деформаційного впливу.

Програмне забезпечення представляє собою користувацький інтерфейс та розрахункові модулі на основі мови програмування C# [49]. Інформаційна система «Аустен» може працювати на будь-якій операційній системі з сімейства Windows, як на малопотужних персональних комп'ютерах, так і на сучасних багатопроцесорних обчислювальних машинах. Основна мета розробки ІС «Аустен» – створити простий і зручний інструмент для інженера або дослідника, який би дозволив йому визначати необхідні властивості австенітних сталей і сплавів.

Головне вікно програми (рис. 2.11) має дві вкладки «Марка сталі» та «Склад сталі» з відповідним контекстом. В правій частині вікна знаходяться розділи «Еквівалентний вміст Cr і Ni» і «Енергія дефектів пакування». Після натискання кнопки «Розрахувати» відбувається розрахунок параметрів вибраної марки сталі.

IC "Аустен"

Файл

Марка сталі Склад сталі

Вибір марки сталі
05X18N10T

Склад сталі

Al	0	Nb	0
C	0,08	Ni	7,52
Co	0	P	0
Cr	16,5	S	0
Cu	0	Si	1,2
Mn	0,96	Ti	0,45
Mo	0	V	0
N	0	W	0

Еквівалентний вміст Cr і Ni

Метод Шеффлера	19,58	10,42
Метод Сутали	18,07	9,63

Енергія дефектів пакування

Метод Шрамма і Ріда	51,65	50,51
Метод Брфмана і Анселла	23,05	22,74

Розрахувати

Рисунок 2.11 – Вікно ІС «Аустен» для розрахунку енергії дефектів упаковки

Для початку роботи з програмою слід створити «Новий розрахунок» або «Відкрити існуючий», в іншому випадку при натисканні кнопки «Розрахувати», користувач отримає вікно з попередженням. Щоб створити новий файл або обрати існуючий, для початку треба натиснути у лівому верхньому куті «Файл».

Після створення нового файлу або вибору вже існуючого, користувач може не хвилюючись про зберігання розрахунків, працювати з ними, так як зберігання розрахунків відбувається автоматично у файл Excel, за натисканням кнопки «Розрахувати». Також користувач має можливість працювати з зробленими розрахунками у MS Excel, при виборі пункту «Інші розрахунки». Після натискання, відкриється файл Excel, в якому зберігались розрахунки, або ж в іншому випадку користувачеві буде запропоновано створити новий файл.

3. КОНТРОЛЬ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ АВСТЕНІТНИХ СТАЛЕЙ

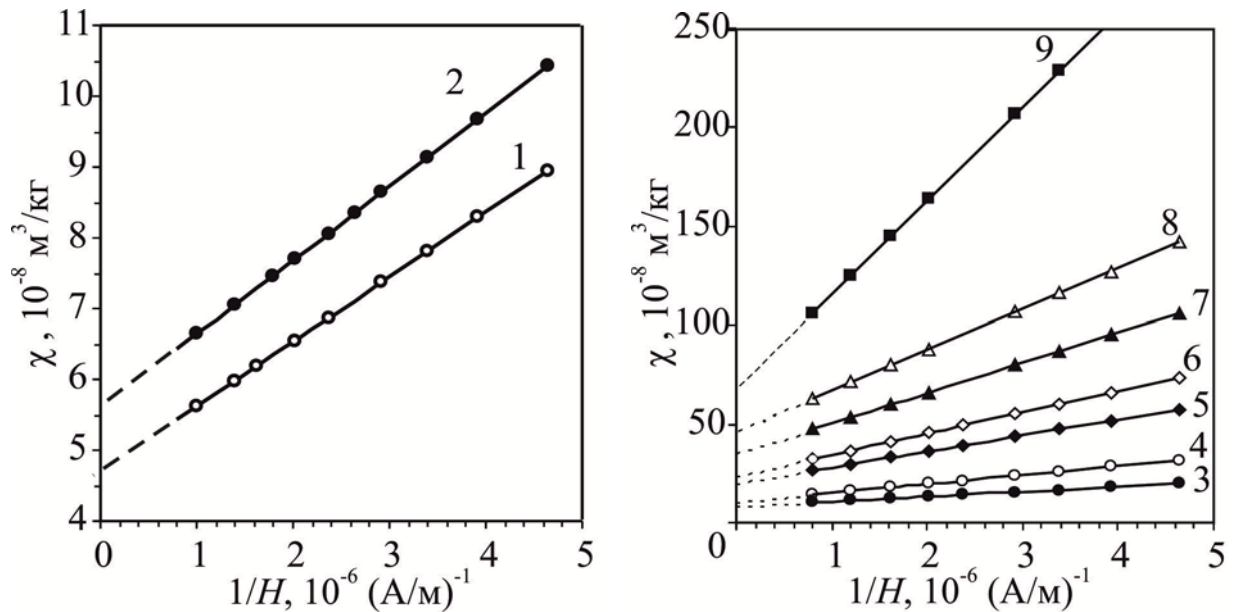
3.1 Контроль малих деформацій австенітних хромонікелевих сталей магнетометричним методом

При виготовленні металоконструкцій, а також в процесі подальшої експлуатації виробів з австенітних сталей неминучі механічні напруги і деформації. Деформація призводить до зміни магнетного стану австеніту і до появи феромагнетного α' -мартенситу. Визначити точне значення деформації (усадка, розтягнення, кручення) досить проблематично, оскільки сам виріб може бути складної форми. Важливим параметром є визначення ступеня деформації, коли відбувається виникнення нової фази, яка здатна впливати на властивості. Метод визначення ступеня деформації за величиною магнетної сприйнятливості запропоновано в [50].

Об'єктом досліджень була промислова нержавіюча сталь австенітного класу 12X18H10 іншого хімічного складу, ніж наведено в [50], а саме: 0.12% C, 1.33% Mn, 0.21% Si, 17.79% Cr, 9.39% Ni, 0.12% Mo. Попередньо сталь відпалювали при температурах 1323 K (30 хв.) і гартували в воду. Потім холодним механічним способом вирізали зразки розмірами $\sim 3 \times 3 \times 1$ мм³. Для зняття поверхневих ушкоджень зразки шліфувалися на абразивних порошках, а потім полірувалися до дзеркального блиску алмазними пастами і електрохімічним методом. Ступінь пластичної одноосьовій деформації на стиск при кімнатній температурі розраховувалася по відношенню товщини до і після деформації: $D=(d-d_0)/d_0$. Вимірювання магнетних властивостей і кількість ферофази здійснювалося після кожного акту стиснення зразку.

На рис. 3.1 представлені типові експериментальні залежності питомої магнетної сприйнятливості χ від зворотної величини магнетного поля $1/H$ сталі 12X18H10 при різних ступенях відносної деформації D на стиск, аналогічно [50]. Зі рис. 3.1 видно, що продовження прямих з віссю ординат ($H \rightarrow \infty$) дадуть

значення χ_∞ і по формулі (2.10) обчислюємо результуюче кількість ферофази P_α в об'ємних відсотках після кожного акту деформації зразка (табл. 3.1).



а

б

а – 1 - 0%, 2 - 2.9%

б – 3 - 3.8%, 4 - 4.9%, 5 - 6.3%, 6 - 7.2%, 7 - 7.9%, 8 - 8.5%, 9 - 10.5%

Рисунок 3.1 – Залежність $\chi(1/H)$ при різних ступенях деформації D

Сприйнятливості χ_0 парамагнетного австеніту знаходили із залежності $\chi_\infty(P_\alpha)$, екстраполюючи $P_\alpha \rightarrow 0$ (ферофаза відсутня) на вісь ординат (рис. 3.2). Нахил прямої 1 (рис. 3.1) підтверджує присутність δ -фериту в зразку при нульовій деформації. Отже, витримка 30 хв. при температурі 1323 K і гарт у воду не призвело до повної австенізації. Знайдена кількість δ -фериту дорівнює $P_\delta=0,07\%$. Відняв кількість P_δ з результуючої кількості ферофази P_α отримуємо кількість α' -мартенситу деформації $P_{\alpha'}$ (табл. 3.1).

Методом екстраполяції визначаємо питому парамагнетну сприйнятливості австеніту (австенітної матриці): $\chi_0 = 2,42 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ (рис. 3.2).

Таблиця 3.1 – Значення магнетних сприйнятливості і кількість ферофази в залежності від ступеня деформації зразка сталі 12Х18Н10Т

$D, \%$	$\chi, 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ ($H=3.42 \cdot 10^5 \text{ А/м}$)	$\chi_{\infty}, 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$	$P_{\alpha} = P_{\delta} + P_{\alpha'}, \%$	$P_{\alpha'}, \%$
0.0	7,5	4,8	0,07	0,00
2.9	8,8	5,7	0,085	0,015
3.8	15,5	8,3	0,218	0,148
4.9	23,6	10,5	0,381	0,311
6.3	43,3	20,1	0,697	0,627
7.2	55,2	23,4	0,921	0,851
7.9	79,7	35,2	1,38	1,31
8.5	107,1	46,7	1,79	1,72
10.5	209,1	68,3	4,11	4,04

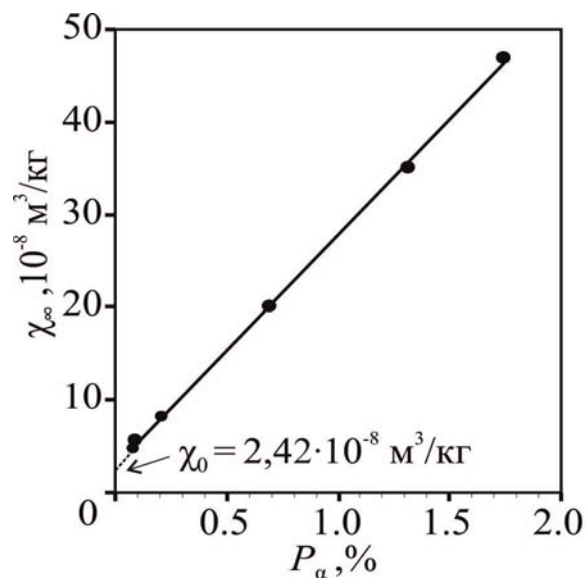


Рисунок 3.2 – Залежність результуючої питомої магнетної сприйнятливості χ_{∞} сталі 12Х18Н10 від кількості ферофази P_{α} , що виникає в результаті деформації

Кількість утворюючого α' -мартенситу деформації $P_{\alpha'}$ від ступеня деформації D стисненням наведена на рис. 3.3. Але зі цієї кривої визначити значення ступеня деформації D_s (з якого починається зароджуватися α' -мартенсит деформації) неможливо.

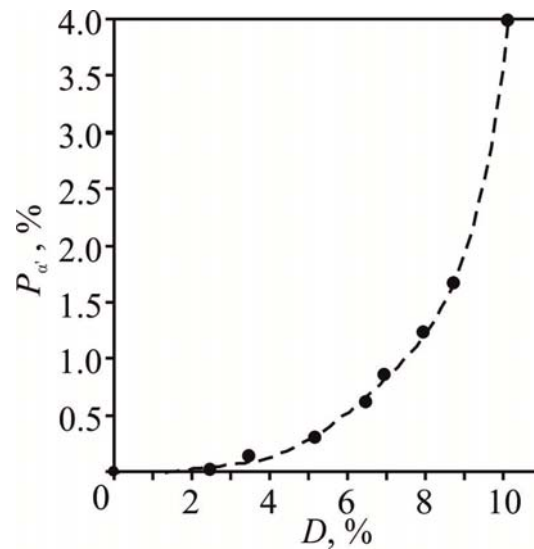


Рисунок 3.3 – Залежність кількості α' -мартенситу деформації $P_{\alpha'}$ від відносного ступеня деформації стисненням D зразка сталі 12X18H10

Для визначення ступеня деформації стиснення D_s , при якому починає зароджуватися α' -мартенсит, знайдемо залежність питомої магнетної сприйнятливості (наприклад, для поля $H = 3.42 \cdot 10^5$ А/м) від кількості α' -мартенситу деформації $P_{\alpha'}$ (рис. 3.4), який виникає при стисненні зразка. Зі рис. 3.4 видно, що якщо спрямувати $P_{\alpha'} \rightarrow 0$ (немає ферофази), то пряма перетне вісь ординат χ в точці $\chi_s = 8,68 \cdot 10^{-8}$ м³/кг.

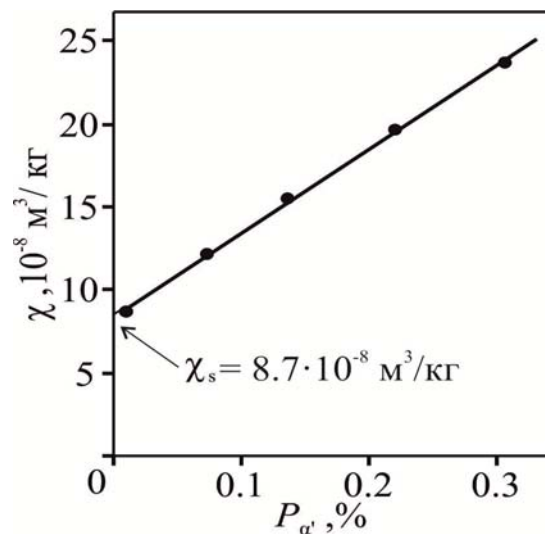


Рисунок 3.4 – Залежність магнетної сприйнятливості χ зразка сталі 12X18H10 від кількості α' -мартенситу $P_{\alpha'}$, який виникає при деформації

Залежність ступеня деформації стисненням D_s від χ сталі 12X18H10 наведено на рис. 3.5. Якщо на осі χ відкласти знайдене значення $\chi_s = 8,68 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ і провести перпендикуляр до перетину з прямою, а потім від цієї точки провести пряму до перетину з віссю D , отримаємо значення $D_s = 2,3 \%$.

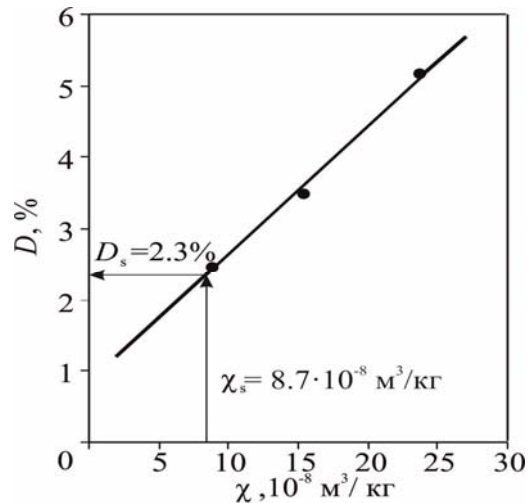


Рисунок 3.5 – Залежність відносного ступеня деформації стисненням D від сприйнятливості χ сталі 12X18H10 при наявності α' -мартенситу деформації

Ця значення ступеня деформації D_s і є деформаційною мартенситною точкою. Її фізичний зміст: нижче значення точки D_s існує однофазний стан речовини (австеніт), вище – двофазний (австеніт + α' -мартенсит деформації).

3.2 Можливість контролю механічних властивостей хромонікелевих сталей визначенням магнетного стану австенітної матриці

Механічні властивості сталей визначають місце їх практичного застосування в різних сферах. Сталь може піддаватися деформації і змінювати механічні властивості. Припускається, що механічні властивості корелюють з попередньо сформованим (до механічних випробувань) атомно-магнітним

станом австенітної матриці, яка характеризується інтегрованим параметром – питомою парамагнетною сприйнятливістю χ_0 австеніту.

На сьогоднішній день є досить чітке уявлення про вплив хімічного складу (тобто різні марки сталі) і структурних фаз на механічні властивості. Однак залишається невивченим питання про значне розкид механічних властивостей (але в межах ДСТУ) різних плавок однієї марки австенітної сталі. При цьому основною структурою майже 99.9% є австеніт, параметри якого (розмір зерна, постійна решітки) однозначно не взаємопов'язаний з фізико-механічними властивостями. Цю проблему можна вирішити, якщо залучити показник атомно-магнетного стану χ_0 австеніту.

Для встановлення кореляційної залежності механічних властивостей австенітної хромонікелевої сталі AISI 321 від парамагнетного стану австенітної матриці (параметр χ_0) і виявлення впливу низького вмісту δ -фериту було обрано п'ять плавок сталі AISI 321 (табл. 3.2), які містили P_δ в межах від 0.002 % до 0.3 %.

Таблиця 3.2 – Значення σ_b , $\sigma_{0.2}$, δ , $\Pi = \sigma_{0.2}/\sigma_b$, $\Pi_1 = (\sigma_b/\sigma_{0.2}) \cdot \delta$ (механічні показники досить близьких по хімічному складу сталей залучені з [39]), χ_0 австеніту та P_α фериту досліджуваних плавок сталі AISI 321

№	σ_b , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %	Π	Π_1 , %	χ_0 , 10^{-8} м ³ /кг	P_δ , %
пл.1	615	304	69	0.494	139.6	2.56	0.04
пл.2	654	332	65	0.508	128.0	2.57	0.15
пл.3	569	239	48	0.420	114.3	2.60	0.28
пл.4	582	245	55	0.421	130.7	2.69	0.17
пл.5	586	291	70	0.497	141.0	2.55	0.03

З холоднокатаного листа сталі товщиною 1 мм вирізали зразки у вигляді паралелепіпедів розміром $\sim(5...7) \times (3...4) \times (0.9...1)$ мм³. Визначали питому

магнітну сприйнятливість χ_0 австеніту та кількість P_δ δ -фериту кожного зразку. Механічні показники (тимчасовий опір розриву σ_b , границя текучості $\sigma_{0,2}$, відносне видовження δ , показник пластичності Π , показник Мартена-Волеса Π_1) близьких по хімічному складу сталей AISI 321 залучені з роботи [39], опублікованої іншими авторами.

Фізичний сенс показників наступний:

1. Тимчасовий опір розриву σ_b – напруження найбільшого зусилля, яке передує розриву зразка при механічних випробуваннях.

2. Границя текучості $\sigma_{0,2}$ – напруження найменшого зусилля, при якому деформація 0,002% від його вихідної довжини зразка.

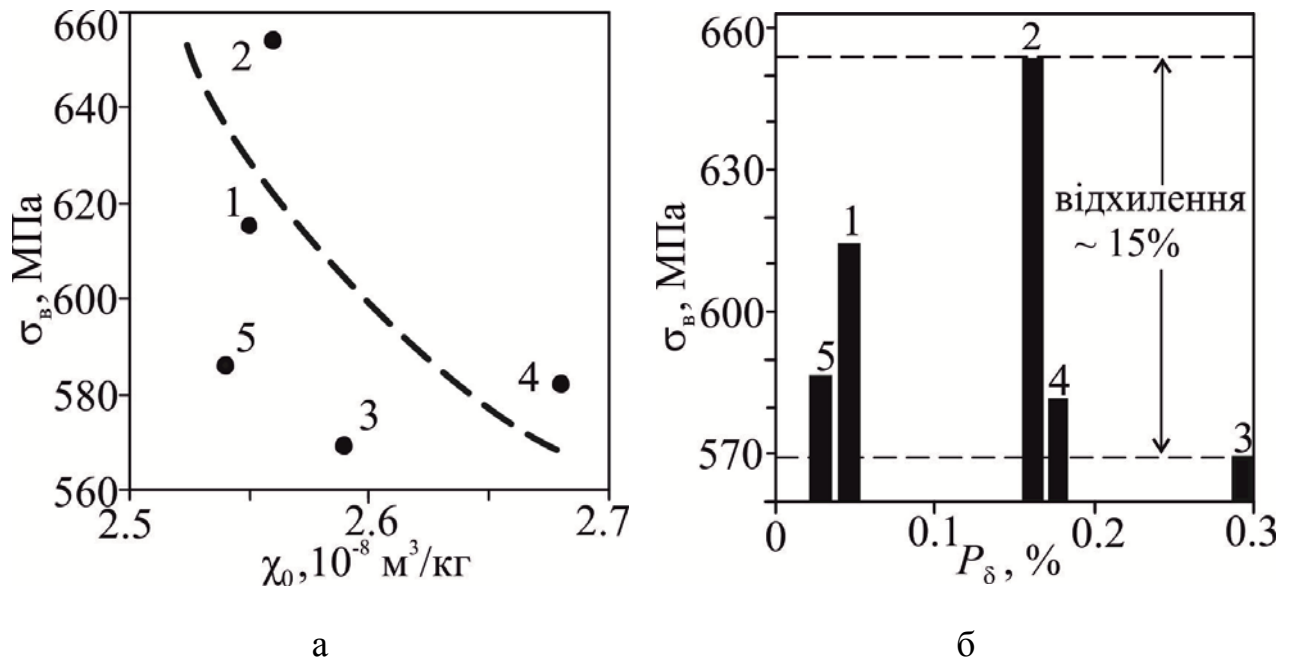
3. Відносне видовження δ , % – відношення довжини розірваного зразку до вихідної довжини.

4. Показник пластичності $\Pi = \sigma_{0,2} / \sigma_b$.

5. Показник Мартена-Волеса $\Pi_1 = (\sigma_b / \sigma_{0,2}) \cdot \delta$, %.

Виявимо кореляцію між механічними властивостями і магнетним становищем австеніту з графічних залежностей Π ; Π ; σ_b ; $\sigma_{0,2}$ і δ від χ_0 австеніту (не плутати з χ сталі, яка містить δ -ферит) та вмісту P_δ досліджуваних плавок сталей (рис. 3.5; 3.6; 3.7), за аналогією [50].

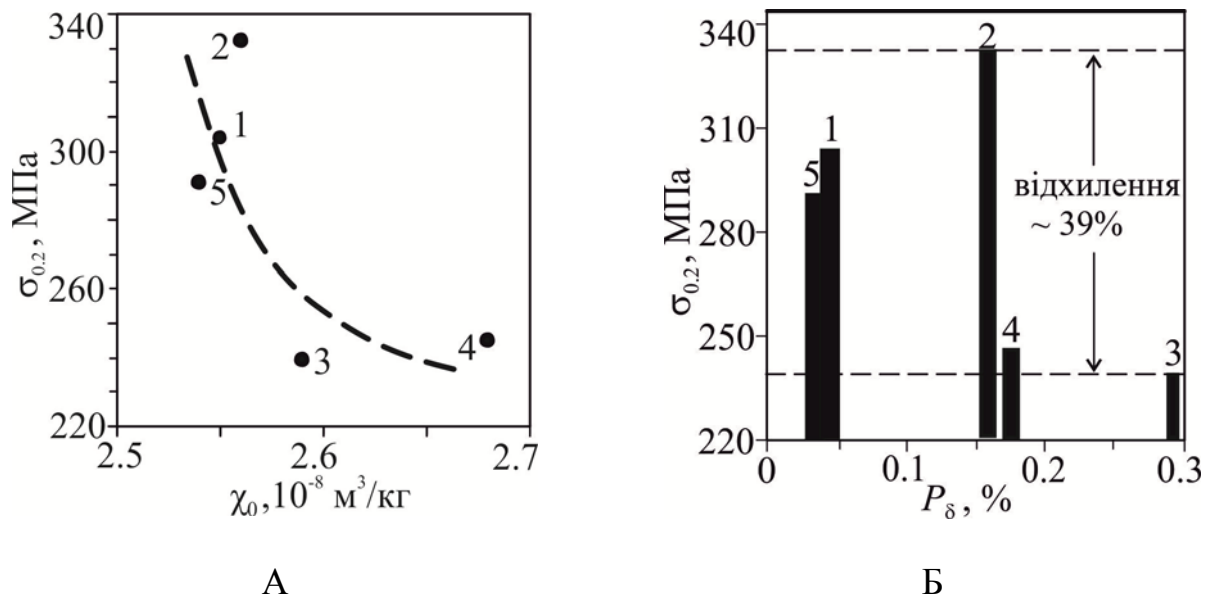
Значення χ_0 і P_δ відповідають початковому стану зразків сталі до механічних випробувань. Аналіз одержаних кривих (рис. 3.5, 3.6, 3.7) показує, що зі збільшенням χ_0 тимчасовий опір розриву σ_b , умовна границя текучості $\sigma_{0,2}$, відносне видовження δ , показник пластичності Π , показник опору деформації Мартена-Волеса Π_1 зменшуються.



а – χ_0 австеніту до механічних випробувань (у початковому стані);

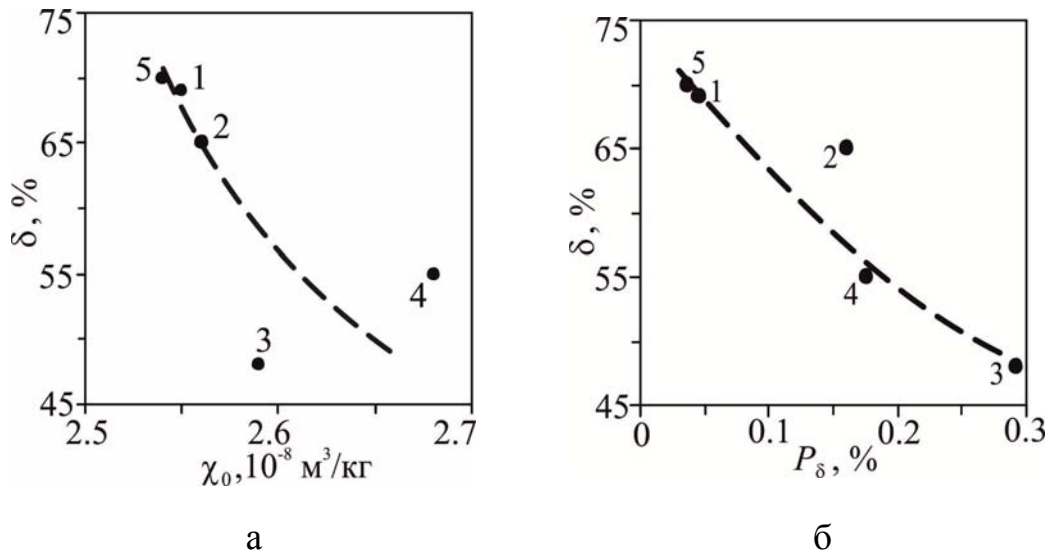
б – кількість P_δ δ -фериту

Рисунок 3.5 – Зміна величини тимчасового опору розриву σ_B для різних плавкок сталі AISI321 від магнетних параметрів



а – χ_0 австеніту у початковому стані; б – кількість P_δ δ -фериту

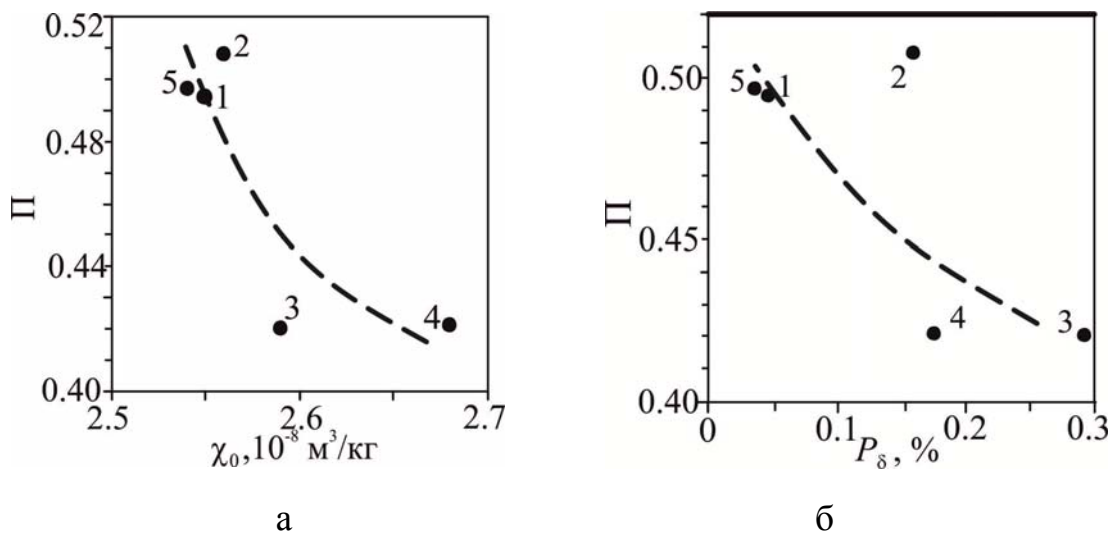
Рисунок 3.6 – Зміна величини умовної границі текучості $\sigma_{0,2}$ для сталі AISI321 різноманітних плавкок від магнетного параметру



а – χ_0 австеніту до мех-х випробувань; б – кількість δ -фериту

Рисунок 3.7 – Зіна величини відносного видовження δ від χ_0 австеніту (а) і вмісту P_δ δ -фериту (б) зразків сталі AISI321 різних плавок

Для з'ясування впливу δ -фериту на механічні властивості наведені залежності σ_B , $\sigma_{0.2}$, δ , Π , Π_1 від кількості P_δ δ -фериту (рис. 3.8, 3.9).



а – χ_0 австеніту у вихідному стані; б – кількість P_δ δ -фериту

Рисунок 3.8 – Залежність величини показника пластичності $\Pi = \sigma_{0.2}/\sigma$ зразків сталі AISI321 різних плавок від магнетних параметрів

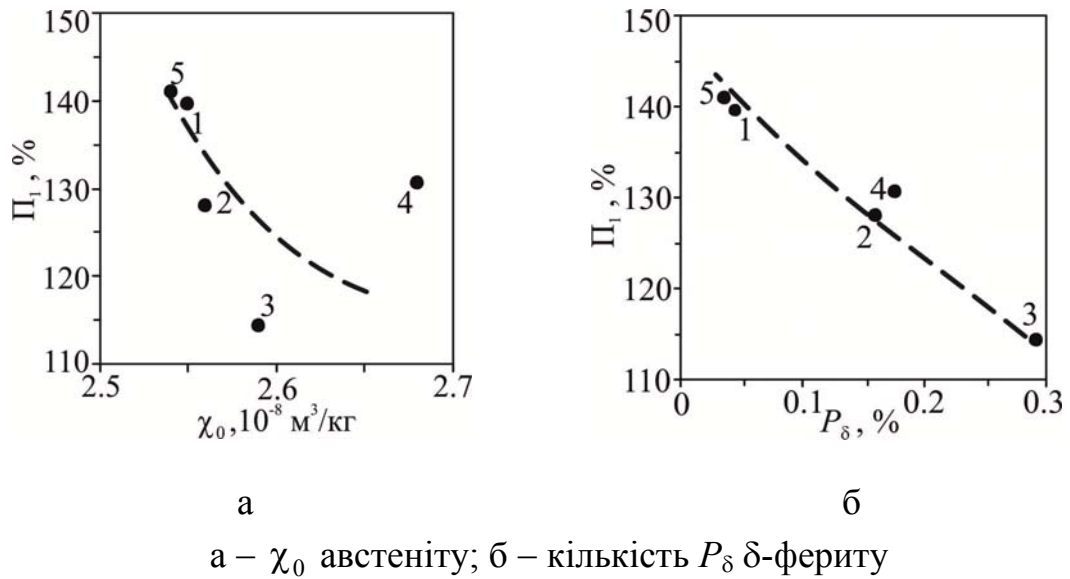


Рисунок 3.9 Тенденція зміни величини показника Мартена-Воlessa Π_1 від χ_0 австеніту (а) і P_δ δ -фериту (б) зразків сталі AISI321

Вплив на механічні показники малої кількості δ -фериту ($\sim 0,005 \dots 0,3$ %) є незначним через малу кількість [50]. Кількість цієї фази корелює з χ_0 австеніту (див. рис. 5.6), отже залежить від магнетного стану аустеніту та перебуває в термодинамічній рівновазі з аустенітом (χ_0). Таким чином, механічні показники можливо визначати за атомно-магнетним станом австенітної матриці (параметр χ_0). Величина P_δ корелює з χ_0 , а саме P_δ зростає зі збільшенням χ_0 .

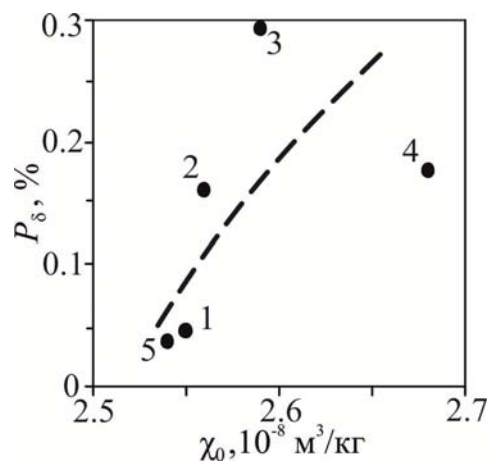


Рисунок 3.10 – Взаємозв'язок зміни кількості P_δ δ -фериту від χ_0 австеніту зразків AISI321 з різних плавов

3.3 Визначення механічних властивості високоманганових сталей за сприйнятливістю χ_0 австенітної матриці

Зносостійкі високоманганові сталі задіяні у виготовлення приладів гірничорудного устаткування, сільськогосподарському, транспортному машинобудуванні [45, 46].

На механічні властивості високоманганових сталей впливають хімічний склад, температура розливання, вміст вуглецю, марганцю, шкідливих домішок. Ці чинники спричинюють спотворення у кристалічній і зміни у магнітній структурах парамагнетної австенітної матриці. Виникає необхідність дослідити кореляцію між χ_0 австеніту і механічними властивостями високоманганових сталей, що дозволить запропонувати новий метод контролю механічних властивостей сталей із австенітною структурою. До показників якості належать відносне видовження звуження ψ і густина ρ .

Високоманганова австенітна сталь (табл. 3.3) була надана доцентом кафедри МіТЛВ НУ «Запорізька політехніка» В. М. Сажневим.

Таблиця 3.3 – Хімічний склад досліджуваних речовин

№	Марка сталі	Елемент, % мас.						
		C	Mn	Si	Cr	Al	P	S
1	110Г13Л	1.16	13.80	0.76	0.10	0.018	0.092	0.016
2	110Г13Л	1.35	12.91	0.76	0.18	0.018	0.090	0.009
3	110Г10Л	1.30	10.70	0.87	0.10	0.021	0.084	0.014
4	110Г10Л	1.19	10.47	0.45	0.01	0.022	0.100	0.015
5	110Г10Л	1.24	9.75	0.48	0.10	0.019	0.092	0.017
6	110Г8Л	1.14	8.60	0.66	0.10	0.019	0.088	0.04
7	110Г8Л	1.34	8.43	0.80	0.06	0.019	0.092	0.014
8	110Г10Л	1.23	10.57	0.51	0.01	0.018	0.1	0.016

Також під його керівництвом були проведені експерименти по визначенню механічних показників (табл. 3.4). Густина ρ сталі визначали за ГОСТом 25281-82, відносне звуження Ψ – згідно ГОСТу 1497-84 (табл. 3.4). На магнетометричній установці (рис. 2.2) визначали χ_0 (табл.3.5).

Таблиця 3.4 – Значення густини ρ і звуження Ψ досліджуваних сталей

№	Марка сталі	Mn, % мас.	Густина ρ , г/см ³	Відносне звуження Ψ , %
1	110Г13Л	13.80	7.8182	29.4
2	110Г13Л	12.91	7.8050	23.4
3	110Г10Л	10.70	7.7852	24.1
4	110Г10Л	10.47	7,7828	16.5
5	110Г10Л	9.75	7.7834	16.0
6	110Г8Л	8.60	7.8814	9.1
7	110Г8Л	8.43	7.8902	7.5
8	110Г10Л	10.57	7.7762	17.2

Таблиця 3.5 – Значення питомої парамагнетної сприйнятливості χ_0 австеніту досліджуваних високоманганових аустенітних сталей

№ зразка	Марка сталі	Mn, % мас.	χ_0 , 10 ⁻⁸ м ³ /кг
1	110Г13Л	13.80	2.37
2	110Г13Л	12.91	2.58
3	110Г10Л	10.70	2.81
4	110Г10Л	10.47	3.19
5	110Г10Л	9.75	3.28
6	110Г8Л	8.60	3.90
7	110Г8Л	8.43	3.95
8	110Г10Л	10.57	3.02

Тарувальні графічні залежності $\Psi(\chi_0)$ і $\rho(\chi_0)$ наведені на рис. 3.11 і 3.12. Контроль та прогнозування механічних параметрів високоманганової аустенітної сталі, а відповідно якість сталі здійснюється наступним чином.

Спочатку магнетометричним методом визначається χ_0 австеніту досліджуваного зразку сталі. Потім на тарувальній залежності « χ_0 австеніту – звуження Ψ » (рис. 3.11), яка побудована раніше з застосуванням еталонів, на осі χ потрібно відкласти значення χ_0 і за перпендикуляром до перетину з кривою $\Psi(\chi)$ отримати точку на залежності, потім від цієї точки провести пряму до перетину з віссю Ψ . В результаті цих маніпуляцій отримаємо контрольне (або прогнозоване) значення звуження Ψ_k .

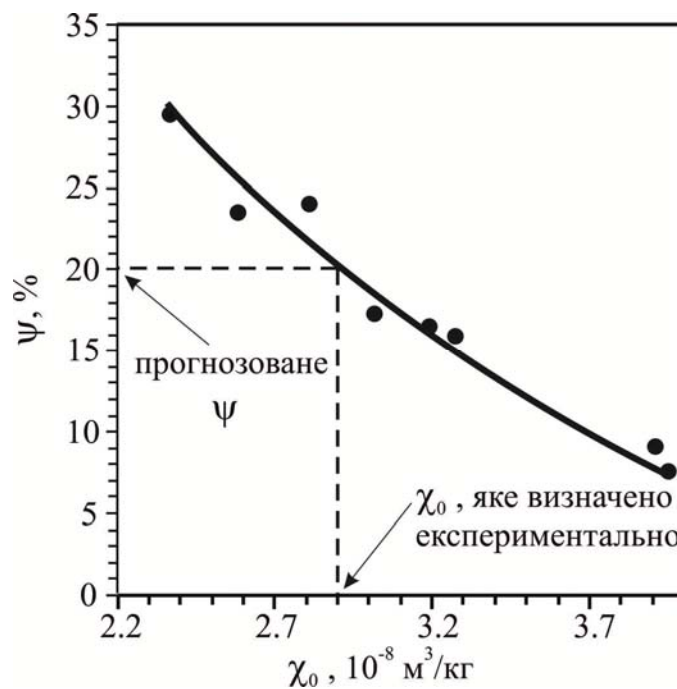


Рисунок 3.11 – Тарувальна залежність « χ_0 австеніту – звуження Ψ » для високоманганових аустенітних сталей

Аналогічним чином здійснюється контроль і прогнозування густини сталі (рис. 3.12).

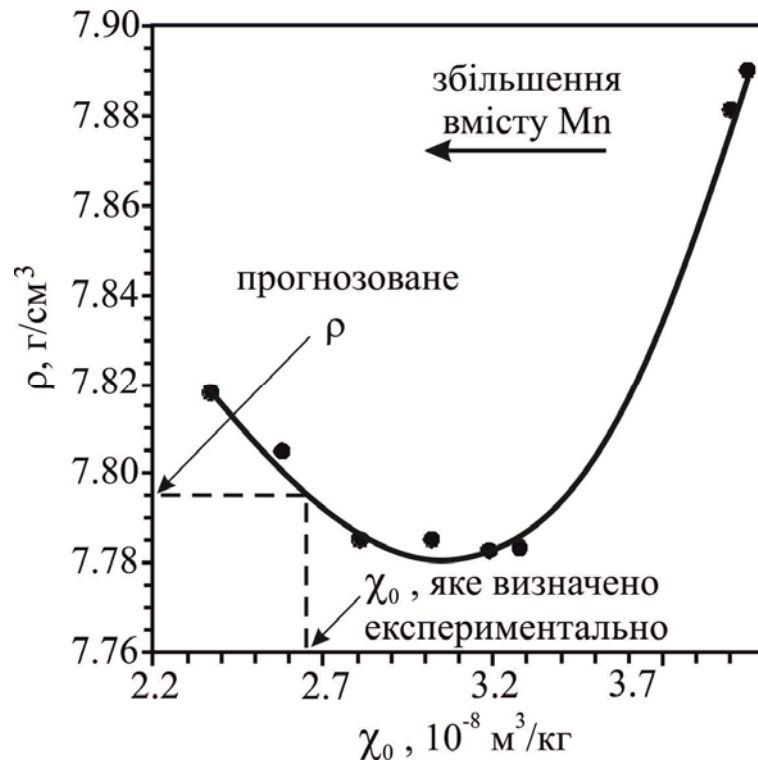


Рисунок 3.12 – Тарувальна залежність « χ_0 австеніту – густина ρ » для високоманганових аустенітних сталей

Визначення правомірності запропонованого методу контролю якості стали, а саме визначення точності контролю, виконаємо наступні експериментальні та розрахункові операції (по аналогії з [43]).

Для зразка №8 сталі 110Г10Л магнетометричним методом визначено $\chi_0 = 3,02 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Зі тарувального графіку « χ_0 австеніту – звуження Ψ » маємо значення відносного звуження досліджуваного матеріалу $\Psi = 18,2 \%$. Це значення згідно ГОСТу 1497-84 $\Psi_{\text{ГОСТ}} = 17,2 \%$. Похибка запропонованого методу контролю $4 \div 6 \%$, що є прийнятним, оскільки порівнянна з похибкою механічних випробувань.

Аналогічним чином було проконтрольовано густину високоманганової аустенітної сталі. Зі тарувального графіку « χ_0 австеніту – густина ρ » маємо значення густини $\rho = 7,7762 \text{ г}/\text{см}^3$. Це значення згідно ГОСТу 25281-82

$\rho_{\text{ГОСТ}} = 7,7852 \text{ г/см}^3$. Похибка запропонованого методу контролю $1 \div 5 \%$, що є прийнятним для оцінки якості.

Запропонована номограма для контролю і прогнозування механічних властивостей високоманганових сталей за допомогою магнетного критерію χ_0 наведена у додатку А.

3.4 Автоматизована система контролю «Якість» для підприємств металургійної та машинобудівної галузі

Автоматизована система управління «Якість» для металургійного та машинобудівного виробництва базується на інтеграції трьох автоматизованих систем, які наведені в [51]:

1. Управління техн процесами (АСУ ТП).
2. АСУ «Центральна заводська лабораторія».
3. АСУ «Метролог».

АСУ ТП призначена для моніторингу стану технологічного процесу на основі автоматизованого збору інформації з вимірювальних приладів і, при необхідності, реалізує керувальні впливи на технологічне обладнання.

При визначенні якості продукції металургійного виробництва основне і найважливіше – це точне і достовірне визначення показників якості, що виконує Центральна лабораторія (ЦЗЛ). АСУ «ЦЗЛ» металургійного підприємства здійснює автоматизований збір, обробку і передачу інформації дозволяє визначити фізико-механічні характеристики, зробити контроль структури металів і сплавів на всіх стадіях технологічного процесу [51].

При виплавці сталі керуються технічними умовами, в яких наведено хімічний склад і потрібні фізико-механічні показники. Вказується допустимий верхній та нижній діапазони. Так для 12Х18Н10 згідно ГОСТу 5632-72 вміст Ni

відповідає інтервалу 9...11 %, а Cr – 17...19% [51]. Перевірка на механічні характеристики здійснюється вже після завершення процесу плавки, оскільки займає тривалий час (виготовлення зразків, випробування та ін.). Оптимальним рішенням є використання одного параметру (характеристики) матеріалу, визначення якого можливо по контрольному відливанні до завершення повного циклу технологічного процесу плавлення. Це дає можливість відкоригувати вміст хімічних елементів ще до завершення процесу плавки.

Результати досліджень, які були проведені у НУ «Запорізька політехніка» дозволили зробити висновок о можливості використання магнетометричного методу для визначення механічних показників австенітних сталей і сплавів завдяки попереднього знаходженню χ_0 аустеніту. Потім за тарувальною залежністю “магнетний параметр – механічний параметр” визначити механічний показник, при цьому значно скоротив час випробувань і витрати на проведення механічних випробувань.

З метою автоматизації пропонується автоматизована установка на базі МПС для вимірювання магнетних параметрів речовини. Запис інформації здійснюється у базу АСУ ЦЗЛ яка містить відповідні тарувальні залежності. У випадку відхилення отриманих характеристик сталі від потрібних (згідно вимогам замовника продукції) корегувальна інформація поступає до АСУ ТП з рекомбінаціями (змінити режим термообробки, додати потрібний хімічний елемент та ін.).

Впровадження підсистеми “Контроль якості та фізичних властивостей хромонікелевих і високоманганових австенітних сталей” в АСУ ЦЗЛ и АСУ ТП дозволить контролювати якість сталей та поліпшити керування технологічним процесом.

4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Планування НДР

Якісний та своєчасний контроль фізико-механічних властивостей речовин сприяє підвищенню конкурентоспроможності машинобудівних підприємств, а саме вимоги до економічності проведення контролю механічних характеристик, сприяє пошуку нових методів у цьому напрямку (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Опис до науково-практичної ідеї «Впровадження магнетометричної установки»

Зміст	Напрямок застосування	Користь для споживачів
Контроль та прогнозування механічних властивостей австенітних сталей шляхом дослідження змін магнетних станів австеніту в результаті деформаційних дій.	Інтегрована автоматизована система „Якість” для металургійних та машинобудівних підприємств.	Скоротиться час та трудомісткість випробувань

Перелік потенційних клієнтів (підприємств):

1. ТОВ “Укрспецмаш”.
2. ТОВ “Прогрес Машбуд”.
3. ПАТ “Дніпроспецсталь”.
4. ТОВ “МЕТІНВЕСТ – Маріупольський ремонтно-механічний завод”.

Для розрахунку економічної частини слід розробити такі напрямки:

- 1) розробити етапи проведення НДР;
- 2) призначити трудомісткість етапів, кількість виконавців, тривалість;
- 3) розробити план-графік проведення роботи;
- 4) розрахунок витрат на проведення НДР.

Весь комплекс НДР можна підрозділити на типові етапи із зазначенням номера етапу, найменування етапу, тривалості (днів) та змісту роботи.

1. Підготовчий (15 днів): Отримання проектного завдання. Аналіз літератури і добірка основних статей та монографій. Розробка, уточнення завдання та затвердження технічного завдання.

2. Здійснення теоретичних міркувань (18 днів): Складання методики. Розробка питань теми, напрямку робіт і перелік питань для досліджень. Розробка теоретичної частини.

3. Розробка проекту (20 днів): Внесення виправлень у розроблені методики. Розробка самого проекту.

4. Аналіз отриманих даних та практичне підтвердження (8 днів): За отриманими даними, аналізування та практичне підтвердження доцільності розробки проекту

5. Узагальнення отриманих результатів (5 днів): Узагальнення отриманих даних, визначення напрямку використання та об'єму витрат на створення такого проекту

6. Заключний (4 днів): Складання звіту, його обговорення та затвердження. Техніко–економічні розрахунки ефективності НДР.

Для кожного етапу вказуються трудомісткість, кількість виконавців і тривалість робіт. Для дослідження необхідні молодший (м.н.с.) та старший наукові (с.н.с.) співробітники, так як є необхідність в фахових спеціалістах.

Розрахунок очікуваної тривалості кожного етапу проводиться за формулою (4.1):

$$t_{оч} = \frac{2 \cdot t_{max} + 3 \cdot t_{min}}{5} \quad (4.1)$$

де $t_{оч}$ – очікувана оптимальна характеристика часу діяння роботи, днів;

t_{min} – мінімально потрібний час для виконання роботи при найсприятливіших умовах, днів;

t_{max} – максимальне витрачання часу роботи при несприятливих умовах, днів.

Отримані результати містяться в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати очікуваної тривалості кожного етапу роботи

Етапи НДР	Виконавці		Часові оцінки НДР, днів			Тривалість, днів
	Спеціальність	Кількість, чоловік	t_{\min}	t_{\max}	$t_{\text{оч}}$	
1	2	3	4	5	6	7
1	М.Н.С.	1	12	16	13,6	15
2	М.Н.С. та С.Н.С.	2	15	20	17	18
3	М.Н.С. та С.Н.С.	2	18	20	18,8	20
4	М.Н.С.	1	7	9	7,8	8
5	М.Н.С. та С.Н.С.	1	3	5	3,8	5
6	М.Н.С. та С.Н.С.	2	3	6	4,2	4
Разом	-	-	58	76	65,2	70

За даними таблиці 4.2 складається стрічковий календарний графік реалізації науково-дослідницьких робіт (рис. 4.1)..



■ робочі дні молодшого спеціаліста

■ робочі дні старшого спеціаліста

Рисунок 4.1 – Графік виконання НДР

4.2 Розрахунок витрат на проведення НДР

Калькуляція вартості робіт дозволила визначати витрати НДР. Вона містить наступні статті [42]:

1. основна (і додаткова) заробітна плата;
2. єдиний соціальний внесок (ЕСВ);
3. витрати на обладнання і комплектуючі;
4. накладні витрати;
5. податки.

4.2.1 Розрахунок основної заробітної плати

Витрати складаються з фонду зарплати працівників, зайнятих в НДР (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Розрахунок заробітної плати основних працівників

Посада виконавця	Чисельність, чол.	Місячний оклад	Середньо-денна ЗП, грн./день	Зайнятість, дні	Сума заробітної плати, грн.
м.н.с.	1	5565	265	49	12985
с.н.с	1	7350	350	21	7350
Разом	2	12915	615	70	20335

4.2.2 Розрахунок додаткової заробітної плати

Заробітна плата додаткових працівників (в реальних умовах це накладні витрати) становить 10% від основної плати й розраховують за формулою

$$ЗП_{доб} = \frac{\sum ЗП_{осн} \cdot 10\%}{100\%} \quad (4.2)$$

$$ЗП_{дод} = \frac{20335 \cdot 10\%}{100\%} = 2033,5 \text{ грн}$$

4.2.3 Відрахування на єдиний соціальний внесок

Складають 22% від заробітної плати (основної та додаткової):

$$CB = (\sum ЗП_{осн} + ЗП_{дод}) \cdot 22\% \quad (4.3)$$

$$CB = (20335 + 2033,5) \cdot 0,22 = 4921,07 \text{ грн}$$

4.2.4 Визначення витрат на матеріали

Ці витрати включають вартість основних і допоміжних матеріалів, які необхідні для проведення НДР: тонер для принтера - 100 грн. (1 банка) і папір 85,90 грн. (1 упаковка), робочий блокнот – 5 грн. Вартість основних матеріалів M розраховуємо за формулою:

$$M = \sum_{i=1}^n (C_i \cdot N_i (1 + K_{тз}) - C_{i0} \cdot N_{i0}) \quad (4.4)$$

де $K_{тз}$ - коефіцієнт транспортно-заготівельних витрат ($K_{тз} = 0,05$);

C_i - ціна i -го найменування матеріалу, грн.;

N_i - необхідна потреба в матеріалі i -го найменування;

C_{i0} - ціна зворотних відходів i -го найменування матеріалу, грн. $C_{i0} = 0$;

N_{i0} - кількість зворотних відходів i -го найменування матеріалу $N_{i0} = 0$;

n - кількість найменувань матеріалів.

Отримуємо наступний результат: $M = (100 + 85,90 + 5) \cdot (1 + 0,05) = 200,45$ грн.

Отже, витрати на матеріали складають 200,45 грн.

4.2.5 Витрати на спеціальне обладнання

У ці витрати входять придбання, транспортування та налагодження обладнання. Враховуються витрати на оплату машинного часу ЕОМ при проведенні НДР. Склавши кошторис вартості 1 маш.-год. роботи ПК, після множення якої на машинний час НДР, отримаємо витрати на оплату машинного часу.

Вартість устаткування для проведення НДР наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Розрахунок вартості обладнання

Найменування устаткування	Вартість обладнання, грн.
Комп'ютер	6500
Електромагніт	6000
Принтер	2500
Усього	15000

Знайдемо суму амортизаційних відрахувань. Балансова вартість складається з вартості ПК, е/магніта, принтера та вартості їх транспортування та налагодження до лабораторії. Основна робота проводиться м.н.с. на ПК. Вартість обладнання – 15000 грн. Норма амортизаційних відрахувань на ПК: $H_a=50\%$. Ефективний фонд роботи ПК 392 год., е/магніту – 168 год., принтера – 112 год. Загальний фонд роботи обладнання склав 672 год. Амортизаційні відрахування визначають за формулою:

$$A = B_b \cdot \frac{H_a}{100\%} \cdot \frac{T_z}{F_{эф}} \quad (4.5)$$

де B_b – балансова вартість, грн.;

H_a – норма амортизаційних відрахувань, %;

T_z – час роботи обладнання, год.

Тоді $A = 15000 \cdot \frac{50\%}{100\%} \cdot \frac{672}{1672} = 3014$ грн. Витрати на електроенергію:

$$C_e = N_n \cdot \Phi_{\text{еф}} \cdot C_e \quad (4.7)$$

де N_n - потужність ЕОМ, кВт;

$\Phi_{\text{еф}}$ - річний ефективний фонд часу роботи ПК, 1672 машино-год;

C_e - ціна 1 кВт·год електроенергії, грн..

Номинальна потужність ПК - 0,5 кВт, ефективний фонд часу роботи ПК: 672 годин. Ціна 1 кіловат-години електроенергії 2,68 грн. Усі витрати на електроенергію наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Розрахунок вартості енергоресурсі

Найменування устаткування	Вид енерго - ресурсів	Установлена потужність, кВт	Тривалість використання, год.	Тариф за кВт год, грн.	Вартість енергоресурсів, грн
Компьютер	е/енер	0,5	392	2,68	525,28
Електромагніт	е/енер	0,5	168		225,12
Принтер	е/енер	0,1	112		30,02
Усього	-	-	672	-	780,42

Зарплата обслуговуючого персоналу визначається за формулою:

$$ЗП_{\text{обсл}} = \Phi ЗП_p (1 + K_{\text{відр}}) \frac{t_{\text{обсл}}}{\Phi_{\text{еф.обсл}}} \quad (4.8)$$

де $\Phi ЗП_p$ – річний фонд заробітної плати, грн.

$K_{\text{відр}}$ – коефіцієнт відрахування на ЄСВ;

$t_{\text{обсл}}$ – час на технічне обслуговування ПК та е/магніту, год/рік;

$\Phi_{\text{еф.обсл}}$ – річний фонд часу обслуговуючого персоналу, год/рік.

Місячна зарплата становить 5123 грн., а її річний фонд дорівнює 56676 грн. Річний ефективний фонд робочого часу обслуговуючого ПК та е/магніту (приєднаний до ПК) працівника дорівнює 1260 год/рік (по 5 годин на день). На обслуговування витрачається 1 год. на місяць, що в рік становить 12 годин.

Тоді

$$ЗП_{обс} = 56676 (1 + 0,22) (12/1260) = 658,52 \text{ грн./рік}$$

Витрати на поточний ремонт та налагодження обладнання становлять 3% від вартості обладнання: 450 грн. Інші витрати становлять 5% від суми статей витрат. Сума всіх попередніх витрат: 9388,94 грн. Тоді 5% складають 469,45 грн. Розраховані статті витрат на утримання і експлуатацію обладнання наведено в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Кошторис витрат на утримання і експлуатацію обладнання

Найменування статті витрат	Сума, грн
Амортизація обладнання	3014,00
Експлуатація обладнання (крім витрат на поточний ремонт)	780,42
Заробітна плата обслуговуючих робітників	658,52
Поточний ремонт обладнання	450,00
Інші витрати	469,45
Разом	5372,39

Витрати на оплату машинного часу ЕОМ визначаються за формулою:

$$C_{мо} = B_{екс} \cdot t_{мо} \quad (4.9)$$

де $C_{мо}$ – витрати на оплату машинного часу, грн;

$B_{екс}$ – експлуатаційні витрати на 1 год. машинного часу, грн./машино-год.;

$t_{мо}$ – машинний час для обробки даних, машино-год.

Річний ефективний фонд часу роботи ЕОМ дорівнює 672 годин. Тоді експлуатаційні витрати на 1 годину машинного часу:

$$B_{екс} = 5372,39/672 = 7,99 \text{ грн./машино-год}$$

ЕОМ експлуатується 21 день/місяць в одну зміну (1 зміна = 8 годин), що становить в сумі 168 годин. Тоді, витрати на оплату машин. часу складуть:

$$C_{мо} = 7,99 \cdot 168 = 1342,32 \text{ грн.}$$

4.2.6 Визначення накладних витрат

До цих витрат відносяться витрати на управління і господарські потреби. В даному випадку накладні витрати становлять 40% до основної заробітної плати розробників, що складає 5166 грн. за місяць. Кошторис усіх витрат, необхідних для проведення НДР, складає 40798,01 грн. (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Кошторис витрат на виконання НДР

Вид витрат	Сума витрат, грн.	Процент витрат, %
Основна заробітна плата	20335	59,81
Додаткова заробітна плата	2033,5	5,98
Єдиний соціальний внесок	4921,07	14,47
Основні матеріали	200,45	0,59
Витрати на обладнання	1342,32	3,95
Накладні витрати	5166	15,19
Разом (без ПДВ)	33998,34	100
Разом (з ПДВ)	40798,01	120

4.3 Розрахунок економічної ефективності НДР

Ефективність НДР визначається, як зіставлення річного економічного ефекту до використаних капіталовкладень:

$$E_{\text{фак}} = \text{Економ. ефект} / \text{Капіталовкладення} \quad (4.10)$$

Висновок про доцільність НДР робиться з порівняння фактичної економічної ефективності з нормативною ($E_n = 0,10 \dots 0,15$). Якщо $E_{\text{фак}} \geq E_n$ то НДР визнають економічно ефективним. Економічну ефективність можливо оцінити по строку окупності витрат:

$$T_{\text{ок}}^{\text{фак}} = \text{Капіталовкладення} / \text{Економ. Ефект} \quad (4.11)$$

Фактичний строк окупності капіталовкладень зіставляється з нормативним строком окупності (приблизно 6 років). На основі порівняння робиться висновок про доцільність досліджень. Аналіз залежності між результативністю НДР й витратами на їхнє досягнення дає можливість кількісної оцінки ефективності НДР по формулі:

$$K_{\text{НДР}} = \frac{J^n \cdot R \cdot T}{V_{\text{НДР}} \cdot t_{\text{НДР}}} \quad (4.12)$$

де $K_{\text{НДР}}$ – рівень ефективності дослідження;

$J^n = 5$ – важливість роботи (відповідає розвитку магнетометрії);

$R = 4$ – результативність роботи;

$T = 2$ – технічна складність виконання НДР;

$V_{\text{НДР}} = 40,798$ тис.грн - витрати на проведення НДР;

$t_{\text{НДР}} = 70$ днів (0,19 року) – час проведення НДР;

$n = 1$ – показник використання результатів НДР

При значенні $K_{\text{НДР}} > 1$ дослідницька робота вважається ефективною. За результатом розрахунку маємо:

$$K_{\text{НДР}} = \frac{5^1 \cdot 4 \cdot 2}{40,798 \cdot 0,19} = \frac{40}{7,75} = 5,16$$

Це значення більше 1, тому дана дослідницька робота є ефективною.

Висновок: кошторис витрат на виконання НДР складає 40798,01 грн.; Економічна ефективність $\approx 5,2$, тобто дослідницька робота є ефективною. Схожі проекти на ринку коштують більше 100 тис. грн. Тому цей проект є економічно привабливим і може бути корисним для машинобудівних підприємств.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Використання магнетометричного методу для контролю якості австенітних сталей передбачає роботу з електрообладнанням, яке живляться від електромережі змінного струму з напругою 220 В. Тому перед проведенням фізичного експерименту, який є основною частиною НДР, потрібно визначати потенційні небезпеки (ПН) та дотримуватися правил безпеки. Аналіз ПН був складений відповідно до небезпечних чинників, які можливі на виробництві. Їх причини та наслідки впливу на людину було виявлено за схемою «небезпека–причина–небажані наслідки». До ПН відносяться наступні фактори [40, 41]:

1) ураження електрострумом (несправне електрообладнання або порушення правил електробезпеки), що може призвести до пошкоджень шкірних покривів та опіків різних ступенів;

2) порушення роботи опорно-рухового апарату людини, що може викликати захворювання опорно-рухового апарату;

3) механічні травми (внаслідок помилкової конструкції або неправильного розташування робочого місця, далі РМ).

До ПН психофізіологічного характеру відноситься підвищене психоемоційне навантаження. Робота характеризується значною розумовою напругою і нервово-емоційним навантаженням, що призводить до неврозу і супутніх його хвороб. До потенційних небезпек санітарно-гігієнічного характеру потрапляють такі фактори, як:

1. Незадовільний мікроклімат РМ внаслідок хибного розрахунку обміну повітрям або відсутності приладів контролю мікроклімату, що викликає застуду або тепловий вплив;

2. Недостатня освітленість робочого місця.

Порушення правил пожежної безпеки може привести до пожежі та опіків людини.

5.2 Заходи безпеки

Аналіз ПН дозволив розробити попереджувальні заходи для забезпечення безпеки, виключення та мінімізації негативного впливу ПН чинників на виробництві фізичного й психофізіологічного характеру із зазначенням нормативних документів [40, 41].

У документі НПАОП 0.00-4.12-05 з метою попередження можливих травмувань були проведені відповідні вимоги до інструктажу та атестація персоналу. Для запобігання ураження електрострумом були виконані вимоги ДСТУ 7237:2011 «Система стандартів безпеки праці. Загальні вимоги».

Особливу увагу потрібно звернути на:

1. Будову електричних мереж.
2. На наявність стаціонарних та мобільних електричних генераторів.
3. Наявність інструктажу з питань електробезпеки.

Ергономічні вимоги наведені в ДСТУ ISO 9241-1:2003 «Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі». Правильна організація безпечного РМ у виробничому приміщенні передбачає дотримання норм до розміру приміщення та кількості ПК.

Визначимо скільки робочих місць урахування ПК можна встановити у приміщенні розміром: довжина $a = 7$ м, ширина $b = 3,5$ м, а висота $h = 2,5$ м.

Відповідно до НПАОП 0.00-1.28-10 забороняється розташування вибухових речовин поряд з приміщенням, де розташовуються ПК. В даному разі офісне приміщення розміщується в офісній будівлі на третьому поверсі.

Площа приміщення $S_{\text{пр}} = 24,5$ м², а площа одного АРМ, згідно ДСанПіН 3.3.2.007/98 становить $\geq 6,0$ м², то можливо розмістити 2 АРМ. Оскільки в даній НДР бере участь дві особи (м.н.с. та н.с.), то використання приміщення є прийнятним. Об'єм приміщення 61,25 м³. Таким чином норматив ($V_{\text{р.м.мін}} = 20$ м³) (відповідно до ДСанПіН 3.3.2.007/98 «Державні санітарні ...») щодо об'єму приміщення з АРМ виконується. Тому в даному приміщенні

можливо розмістити два комп'ютеризованих РМ. Розміри меблів (в першу чергу робочого столу) на комп'ютеризованих РМ повинні відповідати НПАОП 0.00-1.28/10 «Правила охорони праці...», а саме $725 \times (600-1400) \times (800-1000)$ мм³. Цім вимогам відповідає робочий стіл розмірами 1250×1000 мм².

5.3 Заходи щодо забезпеченню гігієни праць та виробничої санітарії

Для цього потрібно дотримуватися положень ДСН 3.3.6.042/99 «Санітарні норми клімату виробничих приміщень», які наведені у табл. 5.1. Подача свіжого повітря в приміщення, де розташовані ПК, регламентується відповідними нормами [40, 41] (табл. 5.2.).

Таблиця 5.1 – Параметри мікроклімату для приміщень з ПК

Період року	Параметр мікроклімату	Величина
Холодний	Температура повітря в приміщенні.	22...24 °С
	Відносна вологість.	40...60 %
	Швидкість руху повітря	до 0.1 м/с
Теплий	Температура повітря в приміщенні.	23.25 °С
	Відносна вологість.	40...60 %
	Швидкість руху повітря.	0.1...0.2 м/с

Таблиця 5.2 – Норми подачі свіжого повітря в приміщення з ПК

Характеристика приміщення	Об'ємна витрата свіжого повітря, що подається в приміщення, м ³
Об'єм < 20 м ³ на людину	Не менше 30
≈ 20-40 м ³ на людину	Не менше 20
> 40 м ³ на людину	Природна вентиляція

Необхідний повітрообмін в приміщенні $7 \times 3.5 \times 2.5$ м³ отримуємо за формулою:

$$L = l \cdot n, \text{ м}^3/\text{год} \quad (5.1)$$

де l – мінімальна додача повітря на 1 співробітника;

n – кількість співробітників у приміщенні.

В приміщенні присутні м.н.с. та н.с., тоді для $V_{\text{приміщення}}=61,25 \text{ м}^3$ потрібний повітрообмін:

$$L = l \cdot n = 20 \cdot 2 = 40 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Повітрообмін в теплий проміжок часу:

$$L = \frac{Q}{c \cdot \gamma \cdot (t - t_{\text{пр}})}, \text{ м}^3/\text{год} \quad (5.2)$$

де Q –кількість теплоти в приміщенні, Вт;

C – теплоємність повітря (питома), $C = 1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$;

γ – густина зовнішнього повітря, $\gamma = 353/(273 + t_{\text{пр}})$;

t – температура повітря, котре видаляється з париміщення, $^\circ\text{C}$;

$t_{\text{пр}}$ – температура приточного повітря, $^\circ\text{C}$.

Надлишку теплоти в приміщенні визначаємо за формулою:

$$Q = q \cdot V \quad (5.3)$$

де q – надлишку теплоти, кВт/м³;

V – об'єм приміщення, м³.

Для випадку надлишку теплоти для офісного приміщення $q = 20\text{-}30 \text{ Вт/м}^3$ маємо наступний розрахунок:

$$Q = 20 \cdot 61,25 = 1225 \text{ Вт}$$

У випадку, коли кількість теплоти $Q=1225 \text{ Вт}$, температури в приміщенні

$t=30^{\circ}\text{C}$ і температурі повітря, що надходить $t_{\text{пр}} = 21^{\circ}\text{C}$, маємо

$$L = \frac{1229}{1.12 \cdot (30 - 21)} = 113 \text{ м}^3/\text{год}$$

За нормою ДБН В.2.5-67/2013 «... та кондиціонування» у приміщенні було встановлено кондиціонер. В приміщеннях, у яких знаходяться ЕОМ (ПК), освітленість повинна бути ≥ 300 Лк, а комбінована освітленість ≥ 750 Лк.

Для забезпечення безпеки від дії електромагнетного впливу необхідно дотримуватися нормативів ДСанПІН 3.3.6.096_2002, ДСНІП 476_2002, Наказу №476 від 18/12_2002. Екран монітору (далі М) повинен розташовуватися на відстані 0.7 м. При цьому кут до нормалі погляду оператора повинен складати $+30^{\circ}$. Клавіатуру розташовують на столі від краю на видаленні 150 мм.

Для збереження здоров'я передбачено перерви для відновлення фізичного стану: оператор ПК повинен робити 10 хвилини перерви після одної години праці за монітором ПК.

5.4 Заходи за пожежної безпеки

Розробку заходів було виконано з розгляду використовуваних при роботі з речовинами і матеріалами у відповідності з СНІП 2.09.02_85. Ліквідація пожежі залежить від наявності вогнегасних пристроїв, датчиків задимлення, засобів сигналізації. Площа офісного приміщення для виконання НДР становить $24,5\text{м}^2$, тому будемо використовувати 2 вогнегасника ВВК-1,4 (за ДСТУу 3675_98 (3734_98) «Пожежна техніка...»).

У будівлях, у яких передбачене розміщення ЕОМ, запроектований II ступень вогнестійкості. Для виявлення пожежі у офісі встановлена система автоматичної пожежної сигналізації з 2 датчиками диму (відповідно до ДБН

В.2.5-56_2014 "Системи протипожежного захисту"). У приміщення знаходиться пожежний кран, з підключеним до водоводу та вбудованого у відповідну шафу. Передбачено візуальний огляд без розкривання шафи.

5.5 Заходи щодо цивільного захисту

Засоби індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗ ОД) повинні забезпечувати захист органів дихання від небезпечних інгаляційних чинників. ЗІЗ ОД повинні забезпечувати захист органів дихання від різноманітних забруднень та при нестачі кисню.

ЗІЗ ОД поділяють на фільтрувальні (очищене повітря з робочої зони) та ізолювальні (повітря зі спеціальних резервуарів). Класифікація ЗІЗ ОД наведена на рисунку 5.1 [40].



Рисунок 5.1 – Класифікація ЗІЗ ОД

Фільтрувальні ЗІЗ ОД поділяються на:

- протиаерозольні (пилозахисні);

- протигазові (газозахисні);
- універсальні (пило газозахисні).

Для забезпечення людини повітрям використовують ізолювальні ЗІЗ ОД. Забезпечення дихання здійснюється з навколишнього середовища (за умови, що воно придатне для дихання). Ці ЗІЗ ОД ізолюють органи. Процедура видихання повітря здійснюється в середовище, що навколо.

Автономні ЗІЗ ОД, в свою чергу, в своїй конструкції мають ємність з дихальною сумішшю, корпус якої виконаю за умови безпеки. Основні елементи ЗІЗ ОД, а саме протигази та респіратори зображені на рис. 5.5, 5.3.



а – фільтрувальні; б – шлангові; в – ізолювальні

Рисунок 5.2 – Протигази



а – «Пелюсток», б – РУ-60, в – Ф-62Ш, г – У-2К

Рисунок 5.3 – Респіратори

ВИСНОВКИ

В результаті досліджень магістерської роботи було запропоновано метод контролю та прогнозування механічних властивостей (густина, відносне звуження та ін..) австенітних сталей на основі експериментальних досліджень структурно-магнетних змін австеніту в результаті деформаційних дій.

Був проведений аналіз привабливості різноманітних магнетометричних методів, виявлені їх недоліки та переваги. Це дозволило вибрати найбільш оптимальний метод для дослідження австенітних сталей, а саме вимірювання магнетної сприйнятливості методом Фарадея. В магістерській роботі описано апаратне та програмне забезпечення, необхідне для проведення експерименту.

Вдосконалена апаратна частина і автоматизована процедура управління експериментом з використанням мікропроцесорної системи. Виконано моделювання контуру регулювання температури нагрівального елемента для термостимуляції за допомогою програми MicroCap v.12. Розроблена модель відповідає критеріям адекватності та ефективності.

Оптимізована методика вимірювань для визначення параметрів магнетного стану. Тобто, для фізичних процесів із змінним станом (в нашому випадку намагнетованість зразку в магнетному полі, безперервний нагрів) обґрунтована методика проведення вимірювань, яка дозволяє уникнути процедури стабілізації для багаторазового вимірювання і проводити одноразове вимірювання не призупиняючи фізичний процес. Методика узгоджується з відомою гіпотезою, а саме ергодичною, яка використовується в статистичній фізики, у випадку заміни процедури усереднення величин відповідним усередненням по ансамблю.

Для визначення низької кількості α -фази використовували методику, яка враховує наявність магнетного моменту у парамагнетного австеніту. Це дозволило визначати наявність наднизької кількості ферофази ($P_{\delta} \leq 0,3 \%$) в

AISI 321. Створено відповідну інформаційну систему для проведення розрахунків фізичних параметрів.

Експериментально визначена залежність сприйнятливості χ_0 австеніту з механічними характеристиками сталі AISI 321 (для менших значень χ_0 маємо більші значення σ_B , $\sigma_{0.2}$, δ). Низька кількість δ -фериту ($P_\delta \leq 0,3\%$) виступає в ролі індикатора прогнозування цих характеристик хромонікелевих сталей, тому що рівень величини P_δ взаємопов'язаний з величиною χ_0 австеніту (зі ростом χ_0 збільшується величина P_δ).

За допомогою експерименту було встановлено, що зі збільшенням вмісту Mn у високоманганових сталях зменшується питома парамагнетна сприйнятливість χ_0 австеніту, тобто підвищується стабільність австеніту.

За допомогою експерименту було встановлено наявність кореляції відносного звуження Ψ високоманганових сталей і атомно-магнетного стану австеніту (параметр χ_0), а саме: при зменшенні χ_0 австеніту спостерігається збільшення Ψ . Запропонована номограма, за допомогою яких можливо здійснювати контроль і визначати механічні властивості високоманганових сталей залежно від критерію χ_0 і керуючого параметру Mn.

За результатами досліджень магістерської роботи планується оформлення патентної заявки на корисну модель „Спосіб визначення відносного звуження австенітних високоманганових сталей”.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. **Майстренка, В. М.** Основи теорії засобів вимірювання [Текст]: Монографія / Під ред. Майстренка В.М. – Хмельницький, 2010 – 493 с.
2. **Чечерников, В. И.** Магнитные измерения [Текст] / В. И. Чечерников. – Москва: Московский университет, 1969. – 387 с.
3. **Губский, С. А.** Контроль напряженного состояния сталей по коэрцитивной силе [Текст] / С. А. Губский, В. И. Сухомлин, В. И. Волох. – Машинобудування, 2014. – №13. – С. 6-10.
4. **Апаев, Б. Л.** Фазовый магнитный анализ сплавов [Текст] / Б.Л. Апаев. – М.: Metallurgy, 1976. – 281 с.
5. **Дмитрах, І. М.** Створення сучасних методів технічної діагностики працездатності систем пароводяного тракту енергоблоків ТЕС [Текст] / І. М. Дмитрах, А. М. Сиротюк, Б. П. Русин та ін. // Цільова комплексна програма НАН України “Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин”: Зб. наук. статей. – К.: Ін-т електрозварювання ім. Є.О.Патона, 2006. – С. 128-132.
6. **Вонсовский, С. В.** Природа магнетизма [Текст] / С. В. Вонсовский. – Москва: Знание, 1964. – 40 с.
7. **Вонсовский, С. В.** Магнетизм [Текст] / С. В. Вонсовский. – Москва: Наука, 1971. – 1032 с.
8. **Дурягіна, З. А.** Автоматизований широкодіапазонний магнетометер для магнетної фазової аналізи стопів: розробка та застосування [Електронний ресурс] / З.А. Дурягіна, Р.Л. Голяка, А.К. Борисюк // Успехи физики металлов. – 2013. – Т. 14, № 1. – С. 33-66. – Режим доступу: <http://dspace.nbuiv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/98360/02-Duriagina.pdf?sequence=1>
9. **Post, C. B.** Stability of austenite in stainless steels [Text] / C.B. Post, W.S. Eberly // Transactions of the A.S.M. – 1947. – Vol 39. – P. 868-890.

10. **Angel, T.** Formation of martensite in austenitic stainless steels, effects of deformation, temperature and composition [Text] / T. Angel // J. Iron Steel Inst. – 1954. – P. 165-175.
11. **Гольдштейн, М. И.** Специальные стали: Учебник для вузов [Текст] / М.И. Гольдштейн, С.В. Грачев, Ю.Г. Векслер. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСИС, 1999. – 408 с.
12. **Малинов, Л. С.** Связь между параметрами распада аустенита при деформации и механическими свойствами хромомарганцевых нестабильных сталей [Текст] / Л.С. Малинов, В.И. Коноп, К.Н. Соколов // Изв. АН СССР. Металлы. – 1977. – № 6. – С. 110-114.
13. **Косицына, И. И.** Высокопрочные аустенитные стали с карбидным упрочнением [Текст] / И.И. Косицына, В.В. Сагарадзе // – Екатеринбург: УрО РАН, 2010. – 178 с.
14. **Schramm, R.** Stacking fault energies of seven commercial austenitic stainless steels [Text] / R. Schramm, R. Reed // Met. Trans. – 1975. – Vol. 6. – P. 1345-1351.
15. **Rhodes, C.** The composition dependence of stacking fault energy in austenitic stainless steels [Text] / C. Rhodes, A. Thompson // Met. Trans. – 1977. – Vol. 8. – P. 1901-1906.
16. **Lecroisey, F.** Martensitic transformation induced by plastic deformation in the Fe-Ni-Cr-C system [Text] / F. Lecroisey, A. Pineau // Metallurgical Transaction A. – 1972. – Vol. 3. – P. 387-396.
17. **Degallaix, S.** Role de l'azote interstitiel et combine sur le comportement en plasticite cyclique et monotone d'aciers inoxydables austenitiques Z2 CND 17-12 (AISI 316 L – 316 LN) [Text]: Thèse de Doctorat / Degallaix Suzanne. – USTL Lille, France, 1986. – 187 p.
18. **Vitos, L.** Alloying effects on the stacking fault energy in austenitic stainless steels from first principles theory [Text] / L. Vitos, J.-O. Nilsson, B. Johansson // Acta Mater. – 2006. – Vol. 5. – P. 3821-3826.

19. **Симса, Ч. Т.** Суперсплавы II: Жаропрочные материалы для аэрокосмических и промышленных энергоустановок [Текст] / Под ред. Ч.Т. Симса, Н.С. Столоффа, У.К. Хагеля: Пер. с англ. В 2-х книгах. Кн. 1 Под ред. Р.Е. Шалина. – М.: Металлургия, 1995. – 384 с.
20. **Морозова, Г. И.** Компенсация дисбаланса легирования жаропрочных никелевых сплавов [Текст] / Г.И. Морозова // МиТОМ. – 2012. - № 12. – С. 52-56.
21. **Мирошниченко, Ф. Д.** Магнитометрические весы с униполярно-астати́ческой системой и механико-магнитным зацеплением призмы [Текст] / Ф. Д. Мирошниченко, В. Л. Снежной // Приборостроение. – 1966. – № 2. – С. 48–52.
22. **Журавлёв, Л. Г.** Физические методы исследования металлов и сплавов [Текст] / Л. Г. Журавлёв, В. И. Филатов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. 157 с.
23. **Самсонов, Г. В.** Физико-химические свойства элементов. Справочник. / Г. В. Самсонов. – Киев: Наукова думка, 1965. – 808 с.
24. **Mishchenko, V. G.** Magnetometric investigations of corrosion behaviour of AISI 304 steel in chloride-containing environment [Text] / V. G. Mishchenko, G. V. Snizhnoi, O. Eh. Narivs'kyu // Metallofizika i noveishie tekhnologii. – 2011. – Vol. – 33. – No. 6. P. 769 – 774.
25. **Мищенко, В. Г.** Формирование неоднородности структуры и фазового состава коррозионностойких сталей реакторов для производства губчатого титана после эксплуатации [Текст] / В. Г. Мищенко, Г. В. Снежной, В. Л. Снежной, Д. В. Савкин // Титан. – 2009. – № 4. – С. 5–11.
26. **Бобирь, С. В.** Фазово-структурні перетворення в зносостійкій марганцевистій сталі 150Г7Т при охолодженні [Текст] / С. В. Бобирь, М. Ф. Евсюков, Г. В. Сніжної // МОМ. – 2014. – № 3. – С. 10–16.
27. **Сніжної, Г. В.** Автоматизована установка для визначення магнетної сприйнятливості криць та стопів [Електронний ресурс] / Г. В. Сніжної,

- Є. Л. Жавжаров // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування. 2012. – № 49. – С. 136–141. – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizovana-ustanovka-dlya-viznachennya-magnitnoyi-spriynyatlivosti-krits-ta-stopiv/viewer>
28. **Vasylenko, O. V.** PWM controller's models for investigation ACS in spice-family ECAD programs [Text] / O. V. Vasylenko, G. V. Snizhnoi // Електротехніка та електроенергетика. 2018. № 1. С. 64–71.
29. **Vasylenko, O. V.** Modeling of multidomain automatic control Systems in ECAD [Text] / O. V. Vasylenko // Вісник Академії митної служби України. Серія: Технічні науки. – 2015. – №1. – С.13-19.
30. **Сніжної, Г. В.** Оптимізація методики проведення спільних вимірювань для визначення параметрів технологічного процесу [Текст] / Г. В. Сніжної / Матеріали X Ювілейної Міжнародної наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій», 7-9 жовтня 2020 р. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – С.196-197.
31. **Снежной, В. Л.** Влияние магнитного момента парамагнитной матрицы на определение низких содержаний α -фазы в аустенитных сталях [Текст] / В. Л. Снежной, Ф. Д. Мирошниченко, В. Г. Каниболоцкий, Г. А. Охромий // ФММ. – 1970. – Т. 30. – № 2. – С. 363–366.
32. **Ольшанецкий, В. Е.** О физической трактовке мартенситной точки [Текст] / В. Е. Ольшанецкий, В. Л. Снежной // ФММ. – 1973. – Т. 36. – № 4. – С. 894–896.
33. **Снежной, В. Л.** Определение низких содержаний альфа-фазы в аустенитных хромоникелевых сталях и влияние магнитного поля на $\gamma \rightarrow \alpha$ превращение [Текст]: дис....кандидата физ.-матем. наук : 046 / Снежной Валентин Луя'нович. – Днепр. гос. универ. Днепропетровск, 1968. – 130 с.

34. **Энтин, С. Д.** Новые методы химического и фазового анализа металлов [Текст] / С. Д. Энтин // Труды ЦНИИТМАШ. – 1964. – № 41. – С.49.
35. **Гуляев, А. П.** Влияние деформации при низких температурах на фазовые превращения и свойства аустенитной стали 1X18H9T [Текст] / А. П. Гуляев, И. В. Черненко // МиТОМ. – 1957. – № 6. – С. 11–14.
36. **Снежной, В. Л.** О физической природе мартенситной точки [Текст] / В. Л.Снежной, Ф. Д. Мирошниченко, В. Г. Каниболоцкий, П. А. Малинен // ФММ. – 1971. – Т. 31. – № 1. – С. 158–161.
37. **Золотаревский, И. В.** О возможности определения магнитной восприимчивости парамагнитной матрицы содержащей ферромагнитные включения [Текст] / И. В. Золотаревский, В. Л. Снежной // Заводская лаборатория. – 1978. – №7. – С. 822–824.
38. **Сніжної, Г. В.** Комп'ютерне моделювання фізичних параметрів хромонікелевих сталей [Текст] / Г. В. Сніжної, А. О. Червоненко / Матеріали X Ювілейної Міжнародної наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій», 7-9 жовтня 2020 р. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020.
39. **Беліков, С. Б.** Кінетика корозійних процесів сталей AISI 321 та 12X18H10T у нейтральних хлоридвмісних розчинах та швидкість їх корозії [Текст] / С. Б. Беліков, О. Е. Нарівський // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. 2011. № 1. С. 36–43.
40. **Журавель, М. О.** Методичні вказівки до лабораторного заняття «Дослідження захисних властивостей засобів індивідуального захисту населення» з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі»: для студентів усіх спеціальностей та форми навчання [Електронний ресурс] / М. О. Журавель, С. М. Журавель // Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2019 р. – 28 с. – Режим доступу:

https://zp.edu.ua/sites/default/files/konf/metodychka_dyplomuvannya_dlya_magistriv_mf_131_133_134.pdf

41. **Якімцов, Ю. В.** Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» у дипломних роботах студентів освітнього ступеню «Магістр» та освітніми програмами: «Безпека інформаційних і комунікаційних систем», «Системи технічного захисту інформації, автоматизація її обробки», 125 – «Кібербезпека» [Електронний ресурс] / Ю. В. Якімцов // Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020 – 28 с. – Режим доступу: https://zp.edu.ua/sites/default/files/konf/met-vkaz_dr_fret_125.pdf
42. **Борисенко, О. Є.** Методичні вказівки до економічного обґрунтування дипломних проектів для студентів спеціальності 7.05010201, 8.05010201 «Комп'ютерні системи та мережі» всіх форм навчання [Електронний ресурс] / О. Є. Борисенко, Н. Л. Онуфрієнко // – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – 34 с. – Режим доступу: <https://zp.edu.ua/kafedra-pidpruyemnyctva-torgivlita-birzhovoyi-diyalnosti>
43. **Пат. 68116 Україна. МПК G01N 27/76 (2006.01), G01N 3/56 (2006.01).** Спосіб визначення зносостійкості австенітних сталей і сплавів [Електронний ресурс] / Сніжної Г. В., Бобирь С. В. – № u201111635; заявл. 03.10.2011; опубл. 12.03.2012, Бюл. №5. 5 с. – Режим доступу: <https://uapatents.com/5-68116-sposib-viznachennya-znosostijjkosti-austenitnikh-stalejj-i-splaviv.html>
44. Сайт компанії «Авангард майстер», розділ Основні типи та галузі застосування нержавіючої сталі [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://amaister.com.ua/articles/useful-info/14-osnovni-typy-ta-haluzi-zastosuvannia-nerzhaviiuchoi-stali>
45. **Сніжної, Г. В.** Наукові основи впливу магнетного стану структури на властивості австенітних сталей [Електронний ресурс]: дис. ... докт. техн.

наук: 05.02.01 / Сніжної Геннадій Валентинович. – Запоріжжя, 2018. – 390 с. – Режим доступу: http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/4169/4/diss_Snizhnoi.pdf

46. **Сніжної, Г. В.** Наукові основи впливу магнетного стану структури на властивості австенітних сталей [Електронний ресурс]: автореферат дис. ... доктора техн. наук: 05.16.01. / ЗНТУ. Запоріжжя, 2019. 46 с. – Режим доступу: http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/4168/4/aref_Snizhnoi.pdf
47. **Сніжної, Г. В.** Модель контуру системи регуляції температури в інформаційно-вимірjuвальній системі [Електронний ресурс] / Г. В. Сніжної, О. В. Василенко, М. О. Кузьміна / Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції «Інформатика. Математика. Автоматика», 20-24 квітня 2020 р. – Суми: МОНУ, Сумський державний університет, 2020. – С.194-195. – Режим доступу: <https://er.chdtu.edu.ua/bitstream/ChSTU/1526/1/ІМА-2020.pdf>
48. **Vasylenko, O. V.** Modeling of automated system for magnetic susceptibility measurement [Електронний ресурс] / O. V. Vasylenko, G. V. Snizhnoi // Матеріали ІІ міжнар. наук.-практ. конф. „Прикладні науково-технічні дослідження”, 3-5 квіт. 2018р. – Академія технічних наук України. – Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2018. – С. 103. – Режим доступу: http://ukrtsa.org.ua/media/theses/2-prykladni-naukovo-tekhnichni-doslidzhennia/5-27_Vasylenko.pdf
49. **Сніжної, Г. В.** Комп’ютерне моделювання фізичних параметрів хромонікелевих сталей [Текст] / Г. В. Сніжної, А. О. Червоненко / Матеріали Х Ювілейної Міжнародної наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій», 7-9 жовтня 2020 р. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – С.194-195.

50. **Снежной, Г. В.** О возможности контроля малых деформаций аустенитных хромоникелевых сталей магнитометрическим методом / Г. В. Снежной [Электронный ресурс] // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2010. – № 9. – С. 131–135. – Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/aktit_2010_9_29
51. **Сніжної, Г. В.** Інтегрована автоматизована система управління «Якість» для металургійного виробництва [Електронний ресурс] / Г. В. Сніжної, О. В. Томашевський, О. В. Василенко // *Матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем»*, 1-3 листопада 2017р. Дніпро, Український державний хіміко-технологічний університет. 2017. – С.317-318. – Режим доступу: <http://orgconf.com/event/conf-CMOSS2017>

Додаток А

Номограма для контролю і прогнозування відносного звуження австенітних сталей за допомогою магнетного критерію χ_0

