

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Фізико-технічний, інженерно-фізичний
(повне найменування інституту, факультету)

Фізичне матеріалознавство
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему Дослідження структурно-механічних
перетворень в аустеніті хромонікелевих сталей

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи 1ф-219м

Спеціальності 132 Матеріалознавство
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Примадне матеріалознавство
Каленюха С.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник Ольшанецький В.Ю.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Панченко Т.В.
(прізвище та ініціали)

2020

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

Інститут, факультет Фізико-технічний, інженерно-фізичний факультет
 Кафедра Фізичною матеріалознавства
 Ступінь вищої освіти Магістр
 Спеціальність 132 «Матеріалознавство»
(код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Прикладне матеріалознавство
(назва освітньої програми (спеціалізації))





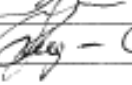


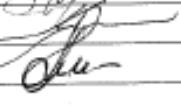

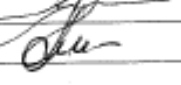
ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

« 16 » грудня 20 20 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

- (прізвище, ім'я, по батькові)
- Тема проекту (роботи) Дослідження структурно-механічних
перевірень в аустеніті хромонікелевих сталей
 - керівник проекту (роботи) Айванецький Вадим Юхимович, професор, д.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
 - затверджені наказом закладу вищої освіти від « 02 » 11 20 20 року №
 - Строк подання студентом проекту (роботи) 17.12.2020
 - Вихідні дані до проекту (роботи) 1. Літературний огляд, 2. Матеріали та
методика досліджень, 3. Експериментальна газимія, 4. Експериментальна
газимія, 5. Охорона праці: безпека у надзвичайних ситуаціях.
 - Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити) хімічний склад сталей, з'язки.
 - Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Хімічний склад; механізм: механізм переки, скелет зміни вільної
енергії аустеніту на фаз; графіки залежності питомої магнітної
сприйнятливості сталей від: стабільності, кінетики нестійкості, вкрай
нестійкості аустенітом; мех. властивості.
 - Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконавце завдання
1	Альманович В. Ю		
2	Альманович В. Ю		
3	Альманович В. Ю		
4	Костюков О. В		
5	Курнікова В. В		
и.к.	Ткач Р. В		

7. Дата видачі завдання « 10 » жовтня 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Літературний огляд	15.10.2020	
2	Матеріали на методика досліджень	27.10.2020	
3	Експериментальна частина	07.11.2020	
4	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	15.11.2020	
5	Висновки частини	10.12.2020	

Студент(ка)


(підпис)

Каналюка С. С.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

Альманович В. Ю.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 94 с., 32 рис., 13 табл., 1 дод., 35 джерел.

Об'єкт дослідження – мартенситні фази в аустеніті хромонікелевих сталей.

Тема роботи: Структурно-магнітні зміни в хромонікелевих сталях аустенітного класу при пластичній деформації.

Мета роботи - дослідження термодинамічної особливості формування мартенситних фаз в аустеніті при холодній пластичній деформації хромонікелевих сталей. На основі чутливого магнітометричного методу визначити початкову стадію перетворення аустеніту в ϵ та α' мартенсити деформацій, розглянути вплив магнітного стану аустенітної матриці на властивості після пластичної деформації. Розглянути правила техніки безпеки та охорони оточуючого середовища, а також розрахувати економічну ефективність даного проекту.

Метод дослідження – метод визначення питомої магнітної сприйнятливості χ_0 .

Визначено єдиний фізичний параметр, котрий одночасно враховує вплив різних факторів на властивості сталей, тобто було запропоновано чутливий параметр – питому парамагнітну сприйнятливості χ_0 , аустеніту.

Здійснено дослідження термодинамічних умов формування початкової стадії перетворення аустеніту в ϵ та α' мартенсит деформації

МАРТЕНСИТ, МАГНІТНА СПРИЙНЯТЛИВІСТЬ, МЕТОД ФАРАДЕЯ, ПАРАМАГНЕТИК, АУСТЕНІТ, ФАЗОВЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ, ПЛАСТИЧНА ДЕФОРМАЦІЯ.

ЗМІСТ

Вступ.....	
1 Літературний огляд.....	
1.1 Хромонікелеві сталі та їх загальні характеристики.....	
1.2 Термодинамічні умови формування двох типів мартенситних фаз....	
1.3 Магнітометричні дослідження хромонікелевих аустенітних сталей...	
1.4 Зміна магнітних властивостей хромонікелевих сталей при пластичній деформації.....	
2 Матеріали та методика досліджень.....	
2.1 Матеріали досліджень.....	
2.2 Методи визначення структури, механічних та корозійних властивостей досліджуваних сталей.....	
2.3 Методика визначення питомої парамагнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту та низького вмісту $P\alpha$ феромагнітної альфа-фази.....	
2.4 Метод Фарадея для вимірювання магнітної сприйнятливості.....	
3 Вплив магнітного стану аустенітної матриці на властивості та формування мартенситних фаз.....	
3.1 Експериментальні результати дослідження.....	
3.2 Діапазон деформацій, який не приводить до появи ϵ та α' мартенситів.....	
3.3 Діапазон помірно нестабільного аустеніту, приводить його спочатку до максимальних змін його деформаційного стану, а потім до зародження в ньому ϵ та α' мартенситу.....	
3.4 Діапазон деформацій, крайнє нестабільного аустеніту, який приводить до утворення α' - мартенситу (без ϵ -фази) по одному з двох варіантів представлених нижче:	

3.4-1	Випадок утворення деформаційного аустеніту (без δ -фериту) з наступним зародженням в ньому α' - мартенситу.....
3.4-2	Діапазон деформацій вкрай нестабільного аустеніту (в присутності δ -фериту), приводить відразу до зародження α' - мартенситу та в наступному його накопиченню.....
3.5	Вплив магнітного стану аустенітної матриці на механічні властивості після пластичної деформації на прикладі хромонікелевої сталі 08X18H10T.....
3.6	Залежність мікротвердості аустеніту від вмісту Ni в хромонікелевих сталях на прикладі X17H(8...16)T.....
3.7	Види і границі станів деформаційної стабільності і нестабільності аустеніту.....
4	Економічна частина.....
4.1	Тенденції розвитку світового ринку технологій.....
4.2	Техніко – економічний розрахунок.....
4.3	Економічна ефективність.....
	Висновки.....
	Перелік посилань.....
	Додаток А.....
	Додаток Б.....

ВСТУП

Хромонікелеві аустенітні сталі – нержавіючі сталі, де основними легувальними елементами є хром та нікель. Основною перевагою даних сталей аустенітного класу є їх високі службові характеристики (міцність, пластичність, корозійна стійкість) та гарна технологічність. Тому аустенітні хромонікелеві сталі в наш час знайшли широке застосування в якості конструкційного матеріалу в різних за масштабом галузях машинобудування.

Актуальність теми. У сфері конкурентоспроможності, потреба в знаходженні нових підходів до дослідження аустенітних сталей зі сторони економічності та оперативності стоїть на першому місці у вирішенні контролю за властивостями.

Оскільки, в аустенізованому стані сталі цього класу мають аустенітну структуру, яка парамагнітна, а при певному хімічному складі його кількість може досягати 100% тому пропонуємо дослідити данні сталі з позиції атомно-магнітного стану. Але у хромонікелевих сталях аустенітного класу під час холодної пластичної деформації відбуваються структурні перетворення, під час яких парамагнітний аустеніт частково перетворюється на мартенсит деформації, внаслідок чого змінюються магнітні та механічні властивості сталі.

Відомості про зв'язок магнітного стану аустеніту та корозійних, механічних властивостей практично відсутні. Тому прогнозування властивостей аустенітних сталей, які пов'язані зі структурно-магнітним станом (параметр χ_0) аустеніту, який містить низьку кількість α -фази (δ -фериту α' -мартенситу), потребує теоретичних та експериментальних і практичних підтверджень.

Встановлення зв'язків кореляційних між атомно-магнітним станом аустеніту вказаних сталей, з одного боку, і механічними та корозійностійкими характеристиками, з іншого боку, а також фазовими перетвореннями типу $\gamma \rightarrow \epsilon$,

$\gamma \rightarrow \alpha'$, $\gamma \rightarrow \varepsilon \rightarrow \alpha'$ є актуальним і має велике значення. Частина відомостей цієї проблеми, має недостатньо досліджений характер.

З наукових джерел відомо, що низький вміст (0.005 – 0.5%) α -фази, здатний різко впливати на механічні та корозійні властивості, що підштовхує до необхідності упровадження надчутливих методів його визначення.

Критичне напруження, зазвичай приймають за мартенситу точку, розмір критичного напруження залежить від точності методу. Тому актуально важливим буде визначення дійсної деформаційної мартенситної точки, тобто нижче від якої (точки) сталь буде перебувати в однофазному стані (аустеніт), а вище в двофазній (аустеніт та мартенсит). В літературах недостатньо досліджено саму поведінку аустеніту поблизу температур деформації мартенситних точок.

Не було виявлено єдиного контролюючого методу, який би, кількісно визначав саме низький вміст (0.005 – 0.1%) феромагнітних карбідів заліза цементитного типу (Fe_3C). Відомо що такі методи як: (металографічний, рентгенографічний, електронно-мікроскопічний), незважаючи саме на їх переваги, не завжди можуть дуже успішно застосовуватися при вивченні досліджуванню фазового складу і фазових перетворень у сталях з низьким вмістом α -фази.

На механічні властивості хромонікелевих сталей, як відомо з літературних даних впливають температура розлиття, хімічний склад, термообробка, карбіди, шкідливі домішки тощо. Не було виявлено єдиного фізичного параметру, який би одночасно враховував вплив вище вказаних факторів на властивості сталей. Тому пропонуємо чутливий параметр – питому парамагнітну сприйливість χ_0 , аустеніту. З'ясовано, що під час пластичної деформації, допускається, а саме те, що поряд зі зміною атомно-кристалічної структури, повинна відбутися зміна атомно-магнітного стану аустеніту, котрий характеризується питомою

парамагнітною сприйнятливістю χ_0 , оскільки вона через електронну будову пов'язана зі станом аустенітної матриці та її дефектами.

Тобто, таким чином при визначенні умови працездатності виробів із аустенітних сталей, вивчення кристалічної структури, доцільно буде провести дослідження саме зв'язку атомно-магнітного стану з корозійними та механічними властивостями досліджуваних нами сталей.

Отже, актуальність досліджень характеризується новим підходом до аналізу стану аустеніту з головною метою одержання нових результатів (наукових та практичних) для прогнозування особливостей фазових перетворень, а також корозійних і механічних властивостей за питомою парамагнітною сприйнятливістю аустеніту як універсального параметру магнітного стану структури.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

В даному розділі розберемо загальні характеристики хромонікелевих сталей та їх термодинамічні умови утворення небажаних мартенситних фаз.

1.1 Хромонікелеві сталі та їх загальні характеристики

При певній обробці, візьмемо до уваги наприкладі гартування, те що можуть утворюватися в невеликій кількості, як ϵ – мартенсит так і α' . Добре це, чи погано? Якщо в цілому брати відповідь на це питання – то звісно погано, тому що поява другої фази, тягне за собою утворення корозії і таке інше.

Тобто, виходячи з того, що нам відомо про сталі аустенітного класу, а саме те, що аустеніт доволі таки має гарну пластичність і те що аустеніт – повинен працювати, як матеріал для деформації. Любі фази, такі наприклад як первинний ферит, так званий δ -фериту, приводить до подряпин, поганій обробці поліруванням та шліфуванням . Отже, якщо на цьому зробити висновок, то аустеніт повинен залишатися чистим! Тому, для того щоб забезпечити цю якість, потрібно добре розібратись, як формується структура в аустеніті.

Виходячи з цього, якщо брати до уваги літературу яка існує, то однозначної відповіді на цю гостру(педантичну) проблему – немає. Тому, що при холодній пластичній деформації, деталі які отримуються методом штампування в момент деформації можуть утворювати, як ϵ так і α' мартенсит, для того щоб це уникнути потрібно дуже прискіпливо віднестись до вивчення формування цих мартенситних фаз.

Тобто, цьому і буде присвячена ця робота, підведемо підсумки, якщо брати до уваги те, що інформації недостатньо, і на основі того що маємо – буде проведено дослідження, яке відноситься до вивчення можливості утворення небажаних фаз.

Хромонікелеві аустенітні сталі мають гарні фізичні та службові властивості, котрі відрізняються різним хімічним складом, це обумовлює їх широке застосування в промисловості. При цьому більшість властивостей визначається станом аустеніту та ступенем його схильності до фазових перетворень.

1.2 Термодинамічні умови формування двох типів мартенситних фаз

Аустенітні нержавіючі сталі, що містять марганець або більш дорогий нікель, використовуються в якості матеріалів, що працюють в умовах високих тисків. При цьому сталі різного хімічного складу мають різну ступінь стійкості аустеніту у відношенні розвитку мартенситного перетворення (формування ϵ - та α' -мартенситних фаз) при деформації. Важливо відмітити і ту обставину, що утворення та морфологія ϵ -мартенситу найбільш повно дослідженні в марганцевих сталях. А в хромонікелевих сталях $\gamma \rightarrow \epsilon \rightarrow \alpha'$ перетворення має свої специфічні особливості. Формування ϵ -мартенситу в хромонікелевих сталях досліджено досить неповно, оскільки кількість цієї фази не перевищує 15 % (в той час коли в марганцевих сталях після гартування утворюється близько 60 – 80 %, а при деформації – майже 100 % мартенситу [1]).

Починаючи з вмісту легувальних елементів, як наголошується в цій роботі (15 % Cr та 9 % Ni), перетворення типу $\gamma \rightarrow \alpha'$ однозначно замінюється

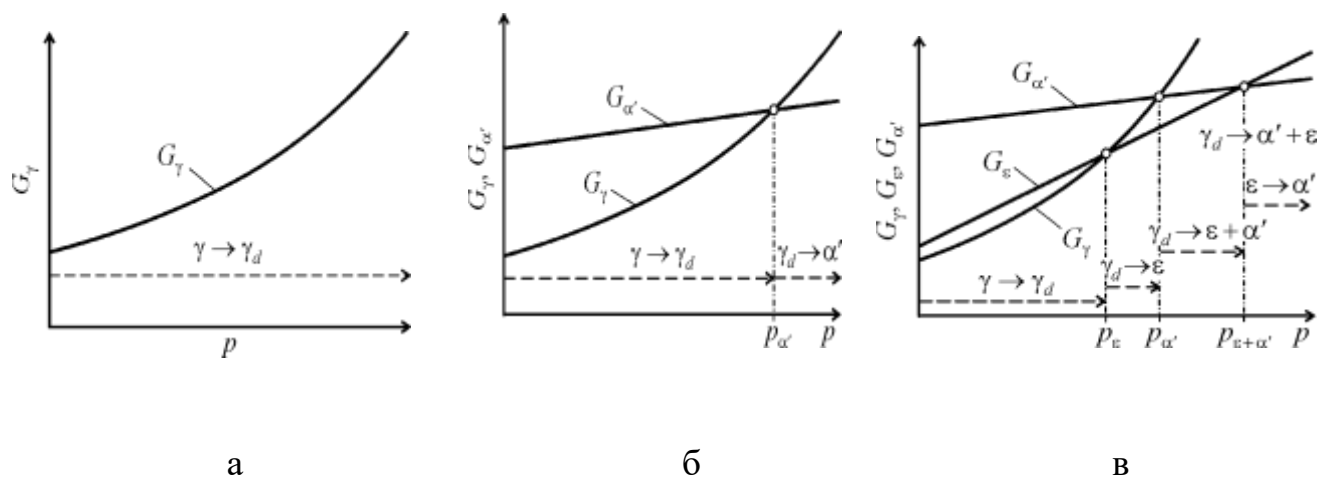
перетворенням $\gamma \rightarrow \varepsilon \rightarrow \alpha'$, що обумовлює обов'язкове формування ε -мартенситу в якості проміжної фази, яка з часом, а також при наступній деформації переходить в звичайний α' -мартенсит. Після критичний вміст елементів приводить до зміни фізичних властивостей та виявляє чітку залежність між стійкістю аустеніту та типом перетворення, з однієї сторони, та механічними властивостями – з іншої.

Відомості саме про перетворення нестабільного аустеніту в проміжні (ε – і α' мартенсит) фази при гартуванні і пластичній деформації мають загальний α' характер [2]. Компонентний і домішковий склади сталей здійснюють істотний вплив на енергію дефектів упаковки (джерел зародження ε -мартенситу). Це стосується, перш за все, впливу нікелю на енергію дефектів упаковки, які утворюються при розщеплюванні елементарних дислокацій [3].

В результаті досліджень з метою виявлення утворення перших порцій ε – і α' мартенситів при пластичній деформації аустеніту в різних за змістом Ni сталях, запропонована система класифікації станів аустеніту за схильністю до МП: стабільний, помірно нестабільний і вкрай нестабільний.

Якщо слідувати принципам саме класичної термодинаміки, то структурні зміни при деформації аустеніту хромонікелевих сталі в залежності від вмісту нікелю повинні задовольняти схемам, що представлені на рис. 1.1. Графіки на цьому малюнку відображають тенденції зміни енергетичних характеристик фаз сплавів згідно рівнянням термодинаміки з урахуванням складу та тиску. Згідно рис. 1.1а для сталі зі структурою стабілізованого аустеніту при тисках $p_d < P_{\alpha}$ (де P_{α} - істинна деформаційна мартенситна точка та при збереженні кривизни аустеніт формується без будь-яких ознак локальних фазових перетворень. Схема на рис. 1.1б відображає перехід (з підвищенням тиску $p_d > P_{\alpha}$) з вкрай нестабільного аустеніту в стан, схильний до появи зародків мартенситної фази наступним зародженням α' -мартенситу.

У відповідності до схеми на рис. 1.1в при підвищенні тиску (одноосьове стиснення для зразків сталі з помірно нестабільним аустенітом першим (на стадії пластичної деформації) з нього починає утворюватися ϵ -мартенсит (при цьому $p_d > p_\epsilon$, $p_\epsilon > p_{\alpha'}$). Для залежностей термодинамічних потенціалів від тиску, зберігається характер кривизни.



а – стабілізований аустеніт (сталі 10X23H18); б – вкрай нестабільний аустеніт (сталі 10X18H9); в – помірно нестабільний аустеніт (сталі 10X16H13).

Рисунок 1.1 – Схеми зміни питомих вільних енергій аустеніту G_γ та проміжних фаз G_ϵ та $G_{\alpha'}$ в залежності від тиску p та складу

Важливо відмітити, що кривизна всіх кривих, приведених на рисунку 1.1, за знаком протилежна випадку впливу температурного фактору, оскільки з основного рівняння термодинаміки, член, який містить диференціал тиску, має позитивний знак, так як у всіх розглянутих випадках, справедливе вираження повного диференціала в вигляді: $dG = -SdT + Vdp$ (при $dT = 0$ і $dp > 0$ завжди $dG > 0$).

Схеми приведені на рис. 1.1, фактично відображають описаний характер структурних змін, повністю підтверджується, як буде показано нижче, нашими

експериментами по високому встановленню деформаційних точок зародження мартенситних фаз.

1.3 Магнітометричні дослідження хромонікелевих аустенітних сталей

Для досліджень обрано хромонікелеві сталі 10X23H18, 10X16H13 та 10X18H9 з хімічним складом, зазначеним в табл. 1.1. При аналізі результатів використані магнітометричні дослідження сталі 10X18H9. Така добірка марок сталей обумовлена вмістом хрому і нікелю, що дозволяє класифікувати стан стабільності аустеніту наступним чином: стабілізований аустеніт (10X23H18), помірно нестабільний аустеніт (10X16H13) і вкрай нестабільний аустеніт (10X18H9).

Таблиця 1.1 – Хімічний склад досліджуваних аустенітних матеріалів

Марка сталі	Елемент, mass%									
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	W	Mo	Cu
10X23H18	0.10	0.94	0.44	0.01	0.02	22.6	18.70	–	–	–
10X16H13	0.13	1.37	1.07	0.01	0.03	15.83	13.70	0.04	0.14	0.24
10X18H9	0.07	1.60	0.30	0.22	0.03	17.26	9.20	0.06	0.32	0.29

Така добірка марок сталей обумовлюється тим, що вони мають різний вміст хрому та нікеля, необхідним для встановлення умов виникнення ϵ -мартенсит при деформації. Для усунення можливих феромагнітних включень, які могли би вплинути на чистоту експерименту, за прикладом [8], проводили

аустенізацію сталей 10X23H18 та 10X16H13 при 1050°C (витримка 30 хв) с наступним гарту в воді.

Сталь 10X23H18 до пластичної одноосної деформації на стиснення була дійсно повністю аустенітизована, що підтверджується горизонтальною лінією $\chi(1/H)$ (рис. 1.2а пряма 1), при цьому вихідне значення парамагнітної сприйнятливості $\chi\gamma$ аустеніту складало $3.30 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$.

Деформації до 55, 90 % (рис. 1.2а, пряма 17) приводили до росту парамагнітної сприйнятливості χ аустеніту до значення $3,72 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. В цьому інтервалі деформацій $p'_\alpha=0$, тобто не було зафіксовано утворення мартенситу деформації (відсутній нахил $\chi(1/H)$). Пояснення зсуву горизонтальних ліній на рис. 1.2а, може імовірно служити зміні характеристик к-простору та структурному переходу ГЦК в ОЦК через проміжний стан, відповідальний щільнопакованій гексогональній структурі [11]. В результаті цього змінюється локалізованість електронів атомної структури аустеніта, яке приводить до змін положення горизонтальних ліній на рис. 1.2а при підвищенні тиску.

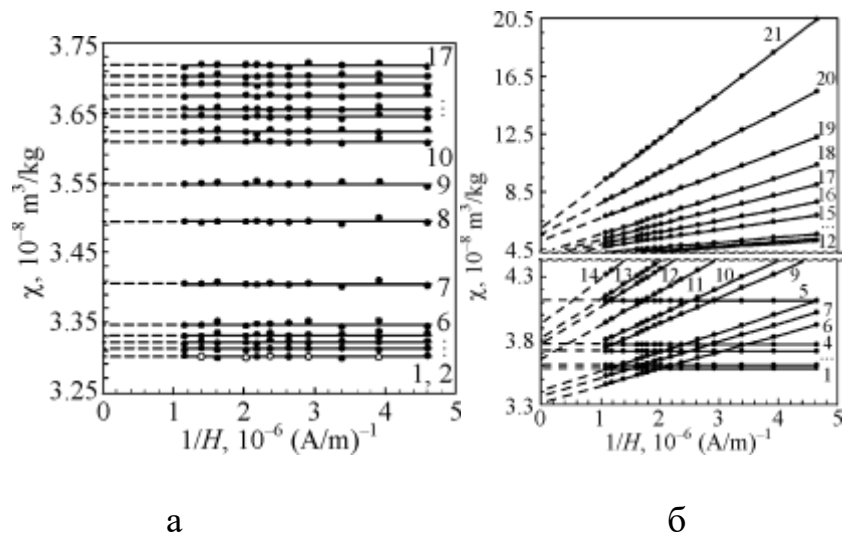


Рисунок 1.2 – Залежність $\chi(1/H)$ при різних значеннях деформації сталей 10X23H18 та 10X16H13, %.

На рис. 1.3. представлена тенденція росту парамагнітної сприйнятливості аустеніту зі збільшенням ступеня деформації. Інтервал деформації до 20 % характеризується лінійним ростом $\chi(K)$, а потім спостерігається ефект насичення (стабілізації). На основі цих даних можна зробити висновок про високу стабільність сталі 10X23H18 до мартенситного перетворення при деформації стисненням.

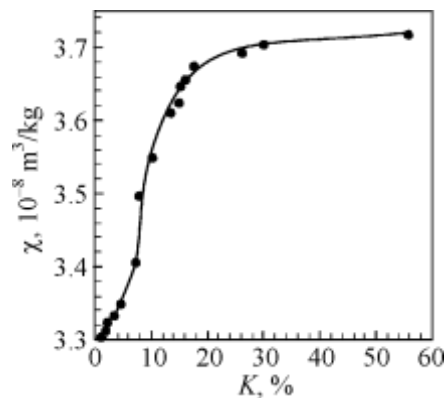


Рисунок 1.3 – Залежність питомої магнітної сприйнятливості $\chi(H = 2.55 \cdot 10^5 \text{ А/м})$ від відносної деформації стиснення сталі 10X23H18.

Сталь 10X16H13 до пластичної деформації на стиснення також була повністю аустенітизована, що також підтверджується горизонтальною лінією $\chi(1/H)$ (рис. 1.2б, пряма 1). При цьому вихідне значення парамагнітної сприйнятливості χ_{γ} складало $3.58 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$.

Деформація до 22,69 % (рис. 1.2б, пряма 5) для цієї сталі призвела до росту парамагнітної сприйнятливості χ_{γ} до значення $4,11 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. При подальшому збільшенні деформації з'являється нахил прямих $\chi(1/H)$, що свідчить про виникнення феромагнітного α' -мартенситу деформації, оскільки величина χ залежить від співвідношення фаз, тобто аустеніту та мартенситу. Так при деформаціях 23.98, 24.74 та 25,49 % були зафіксовані порції виникаючого α' -мартенситу деформації в кількості $(1.05, 1.13 \text{ та } 1,22) \cdot 10^{-2} \%$ (рис. 1.2б,

прямі 6-8).. Також треба звернути увагу на то, що ці прямі, а також прямі 9-15 перетнули початкові горизонтальні прямі 1-5. При екстраполяції вищезазначені на вісь $\chi(H \rightarrow \infty)$, для них отримані значення які характерні питомій магнітній сприйнятливості χ^∞ (табл. 1.2), котрі лежать нижче максимального значення парамагнітного сприйняття аустеніта $\chi_{\gamma\max} = 4.11 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$.

Таблиця 1.2 – Значення магнітної сприйнятливості від степеню пластичної деформації стиснення сталі 10X16H13

#	D,%	$\chi, 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$	$\chi^\infty, 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$	$R\alpha', 10^{-2}\%$	Фаза
1	0.00	3.58	3.58	0.00	γ
2	4.16	3.61	3.61	0.00	γ
3	8.85	3.72	3.72	0.00	γ
4	14.90	3.77	3.77	0.00	γ
5	22.69	4.11	4.11	0.00	γ
6	23.97	3.83	3.32	1.05	$\gamma \rightarrow \varepsilon + \alpha'$
7	24.74	3.92	3.37	1.13	$\gamma \rightarrow \varepsilon + \alpha'$
8	25.49	4.00	3.41	1.22	$\gamma \rightarrow \varepsilon + \alpha'$
9	27.76	4.32	3.53	1.62	$\gamma \rightarrow \varepsilon + \alpha'$
10	29.27	4.41	3.57	1.72	$\gamma \rightarrow \varepsilon + \alpha'$
11	30.86	4.68	3.66	2.09	$\gamma \rightarrow \varepsilon + \alpha'$
12	31.92	4.90	3.78	2.30	$\gamma \rightarrow \varepsilon + \alpha'$
13	33.06	4.99	3.82	2.40	$\gamma \rightarrow \varepsilon + \alpha'$

Продовження таблиці 1.2

14	35.70	5.30	3.93	2.82	$\gamma \rightarrow \varepsilon + \alpha'$
15	40.24	6.44	4.05	4.91	$\gamma \rightarrow \varepsilon + \alpha'$
16	44.23	7.21	4.11	6.35	$\gamma + \alpha'$
17	47.66	8.23	4.15	8.36	$\gamma + \alpha'$
18	50.45	9.40	4.16	10.76	$\gamma + \alpha'$
19	54.49	11.15	5.11	12.38	$\gamma + \alpha'$
20	59.38	13.89	5.54	17.13	$\gamma + \alpha'$
21	66.70	18.16	5.92	25.09	$\gamma + \alpha'$

Таким чином, в інтервалі деформацій від 23.97 до 40.24% окрім феромагнітної фази α' -мартенситу, присутня нова парамагнітна фаза з найменшим порівняно до аустеніта значенням парамагнітної сприйнятливості.

Метод екстерполяції як бачимо з графічної залежності χ_∞ та $R\alpha'$ (до інтервалу деформацій від 23.97 до 33.70 (рис.1.4) визначає значення питомої парамагнітної сприйнятливості нової фази $\chi_\varepsilon = 2.98 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Це виявилось менше від того, що було знайдено нами значення парамагнітної сприйнятливості χ_γ недеформованого аустеніту ($\chi_\gamma = 3.58 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$).

За даними авторів [13], ε – мартенсит є парамагнітною фазою з парамагнітною сприйнятливістю меншою за аустеніт, що в слід добре співпадає з отриманими нами значеннями $\chi_\varepsilon < \chi_\gamma$. Згідно [1] кількість Ni та Cr в даній сталі також сприяє появі ε – мартенситу. Виходячи з цього, виникає нова парамагнітна фаза, котра являється ніким іншим, як ε – мартенсит деформації, що узгоджується [2].

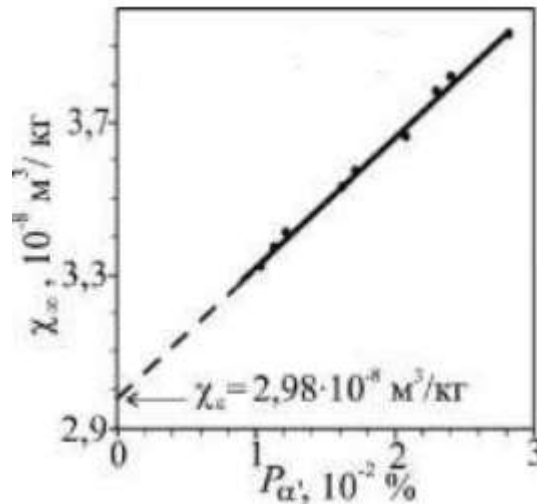


Рисунок 1.4 – Залежність результуючої питомої магнітної сприйнятливості χ^∞ сталі 10X16H13 від кількості мартенситу деформації $P_{\alpha'}$

При деформації 44.23% результуюча питома магнітна сприйнятливість χ^∞ досягає рівня $4.11 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, що співпадає з максимальним значенням парамагнітної сприйнятливості деформованого аустеніту ($\chi_\gamma = 4.11 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$). Отже, це дозволяє припустити таку думку, що при такому силовому впливу ϵ -фаза уже повністю трансформувалась в α' -мартенсит, в результаті перетворення на місці. Подальша деформація до 67.70% супроводжується тільки перетворенням $\gamma \rightarrow \alpha'$ (лінії $\chi(1/H)$ не пересікають горизонтальні прямі). Але, не треба виключати думку про те, що є можливість перетворення $\gamma \rightarrow \epsilon + \alpha'$, при умові, що час життя ϵ -фази прагне до 0. (так, як ϵ -фаза виникає і переходить в α' -фазу вже в процесі самої деформації).

Залежність виникнення кількості α' -мартенситу від ступеня деформації сталі 10X16H13 представлена на рис 1.5.

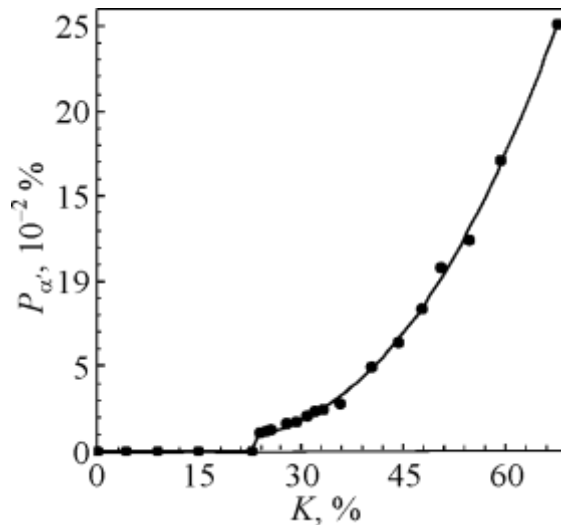


Рисунок 1.5 – Залежність виникаючого мартенситу деформації P_{α} від відносної деформації стиснення сталі 10X16N13

Магнітометричні дослідження сталі 10X18N9 виявили виникнення першої порції α' -мартенситу при ступені деформації 3,19 %. А при деформації 14,79 % кількість α' -мартенситу складало вже $P_{\alpha'}=67,4 \cdot 10^{-2}$ %. При цьому не були зафіксовані залежності $\chi(1/H)$, що свідчить про наявність ε -фази (тобто всі похилі лінії не перетинали горизонтальні). Таким чином, при деформації цієї сталі мало місце тільки перетворення $\gamma \rightarrow \alpha'$. Виникнення α' -фази уже при малих деформаціях підтверджує, що дана сталь після гартування має вкрай нестабільний аустеніт.

1.4 Зміна магнітних властивостей хромонікелевих сталей при пластичній деформації

Аустеніт хромонікелевих сталей аустенітного класу з точки зору магнітного стану можна розглядати як парамагнетик. Парамагнітний ефект

виникає в аустеніті у зв'язку з наявністю некомпенсованих орбітальних та спінових магнітних моментів. При відсутності зовнішнього магнітного поля вектори магнітних моментів розташовуються рівноімовірно у всіх напрямках під дією теплової енергії і тому результуючий магнітний момент аустеніту дорівнює нулю. При наявності зовнішнього магнітного поля виникає переважний напрямок магнітних моментів вздовж поля, в результаті чого магнітний момент аустеніту не дорівнює нулю.

В процесі холодної пластичної деформації аустенітних хромонікелевих сталей протікають складні $\gamma \rightarrow \alpha'$ перетворення, що призводять до порушення рівномірного розподілу легувальних та домішкових елементів. Ці процеси приводять до зміни кристалічної та атомно-магнітних станів аустеніту. Ці явища можуть визначати подальші механічні та службові властивості сталей.

1) Згідно отриманих нами результатами в хромонікелевих сталях при визначені тиску аустеніт може перетворюватися як в звичайний α' -мартенсит, так і в попередній сприятливий його появі ϵ -мартенсит, маючий згідно літературним даним щільнопаковану гексагональну структуру. Останній утворюється частіше всього на дефектах пакування згідно з аналогічною решіткою, в результаті легкого розщеплення елементарних дислокацій с вектором Бюргерса $b = a/2 \langle 011 \rangle$ в площинах ковзання $\{111\}$, в наслідок того, що такого рода дефекти мають низьку вільну енергію.

2) При невеликому вмісту Ni вся енергія дефекту пакування може виявитися більш значною, ніж у випадку (широкого) розщеплення дислокацій, при якому площа дефекта співпадає з площею перетину аустенітного зерна. Тобто отримані нами експериментальні данні підтверджують той факт, що в сталях з відносно високій магнітній енергії складової дефектів пакування в аустеніті мартенсит деформації утворюється в схемам $\gamma \rightarrow \alpha'$, а в сплавах з низькою енергією дефектів пакування по схемі $\gamma \rightarrow \epsilon \rightarrow \alpha'$.

3) При одноосьовому стисненню аустенізованих зразків, спостерігається ріст парамагнітної сприйнятливості аустеніту, що зв'язано, скоріш за все з зміною характеру структури атомів під дією силових факторів.

2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Матеріали досліджень

Експерименти проводили на зразках аустенітних сталей промислового виробництва і дослідних сталей, отриманих в лабораторії НУЗП.

Хімічний склад досліджуваних сталей наведено у таблиці 2.1. Досліджувались добірка марок з хромонікелевих сталей.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад досліджуваних аустенітних матеріалів

Марка сталі	Елемент, mass%										
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	W	Mo	Cu	Ni
10X23H18	0.10	0.94	0.44	0.01	0.02	22.6	18.70	□	□	□	
10X16H13	0.13	1.37	1.07	0.01	0.03	15.83	13.70	0.04	0.14	0.24	
10X18H9	0.07	1.60	0.30	0.22	0.03	17.26	9.20	0.06	0.32	0.29	
12X15H16	0.12	1.57	0.95	0.01	0.03	14.87	15.54		0.17	0.22	
12X18H10T	0.12	1.58	0.3			18.09	10.46		0.11		0.25
12X18H10T	0.12	1.32	0.25			17.85	9.42		0.12		0.46
14X17H18	0.14	1.48	1.18	0.02	0.35	16.81			0.04	0.23	

Така добірка марок сталей обумовлюється тим, що вони мають різний вміст хрому та нікелю, необхідним для встановлення умов виникнення ϵ -мартенсит при деформації. Для усунення можливих феромагнітних включень, які могли би вплинути на чистоту експерименту, проводили аустенізацію сталей 10X23H18 та 10X16H13 при 1050°C (витримка 30 хв) з наступним гартуванням в воді. Зразки вирізали холодним механічним способом (розміри приблизно 3*3*1 мм³), для зняття пошкоджень поверхню шліфували з використанням абразивного порошку, з наступним поліруванням до зеркального блиску.

алмазними пастами та електрохімічним методом. Ступінь пластичної одноосьової деформації при кімнатній температурі, рахували по відносини товщини до та після деформації. ($D = (d - d_0)/d_0$). На всіх етапах підготовки зразків, звертали особливу увагу на те, щоб поверхня не забруднилась будь-якими, феромагнітними домішками.

2.2 Методи визначення структури, механічних і корозійних властивостей досліджуваних сталей

Дослідження фазового складу та мікроструктури та сталей проводили на растровому електронному мікроскопі РЕМ-1061, котрий був оснащений системою енергодисперсійного мікроаналізу. Хімічний склад матеріалів визначали методом рентгеноспектрального мікроаналізу. Мікротвердість визначали методом Віккерса за допомогою твердоміра ПМТ-3 (згідно ГОСТ 9450-76). Даний прилад був забезпечений цифровою відеокамерою для зйомки і передачі зображення на ПК. Фіксацію результатів досліджень проводили в цифровому режимі, що дозволяло підвищити точність наших вимірювань, а також отримувати збільшення до $\times 900$. Далі для визначення ударної в'язкості (КСУ) зразки досліджували на копрі МК-30А згідно ГОСТ 9454-78. Випробування на розрив проводили на машині УРМ-50. Границю міцності σ_b при розтягуванні на розрив, відносні видовження δ і звуження поперечного перерізу ψ після розриву визначали відповідно до ГОСТ 1497-84.

За показники механічних властивостей брали середні значення кожної сталі результатів 3...5 випробувань зразків. Статистичний аналіз показав, що похибка експериментів при надійності 0,9 не перевищує навіть 5 %. Для визначення зв'язку між атомно-магнітним станом аустеніту і корозійними

властивостями цих самих плавок сталей 08X18H10, 08X18H10T були залучені з наукових джерел [30,31].

Штампували зразки діаметром 42 мм і завтовшки 1 мм. Досліджувану поверхню полірували, а в подальшому протилежну і краї екранували фторопластом. Зразки піддавали пітингової корозії у водних розчинах 3%-го хлористого амонію NH_4Cl впродовж 3 годин при температурі $60^\circ\pm^\circ\text{C}$ [48]. Корозійні втрати визначали за формулою $K = (\Delta m/s*\tau)*100\%$, Δm – різниця мас зразка до і після випробувань, S – площа поверхні зразка, τ – час випробувань.

З метою прискорити швидкість корозії зразки поміщали в суміш концентрованих кислот – хлоридної та нітратної ($\text{HCl}:\text{HNO}_3$ 3:1). Для виявлення зміни швидкості корозії використовували коефіцієнт інтенсивності корозії K , який визначали як відносну втрату маси $K_1 = (\Delta m/s*\tau)*100\%$, $K_2 = (\Delta m/s*\tau)*100\%$.

2.3 Методика визначення питомої парамагнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту та низького вмісту $P\alpha$ феромагнітної альфа-фази

Новим і перспективним методом регулювання структури і властивостей сталей аустенітних на основі заліза було запропоновано метод вивчення парамагнітного стану аустеніту, тобто метод визначення питомої магнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту, який містить або не містить низьку кількість феромагнітної α -фази (δ -ферит, α' -мартенсит деформації).

Для визначення низької кількості α -фази в об'ємних відсотках [32] використовували, на відміну від інших методів, методику, яка враховує вплив магнітного моменту парамагнітної матриці аустеніту.

Аустенітна сталь розглядається як суміш двох середовищ:

- 1) Парамагнітне середовище (аустеніт),
- 2) Феромагнітне середовище (α -фаза).

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

$$J = J_0 + J_f \quad (2.1)$$

де J_0 і J_f – намагніченість парамагнітного і феромагнітного середовищ.

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

$$J = \chi_0 * H + (J_s + \chi_p * H) \quad (2.2)$$

де J – загальна намагніченість насичення зразка в магнітному полі H

$\chi_p * H$ – парапроцесна складова намагніченості насичення α - фази

$\chi_0 * H$ – парамагнітна складова намагніченості

J_s – спонтанна намагніченість насичення α - фази

“Якщо перейти до питомого намагнічення (ділимо на густину s речовини), одержуємо”

$$\sigma = \sigma_m + \chi_0 * H + \chi_p * H \quad (2.3)$$

де σ – загальна питома намагніченість зразка,

σ_m – феромагнітна складова питомої намагніченості α -фази зразка,

H – напруженість магнітного поля,

χ_0 – парамагнітна складова питомої сприйнятливості аустеніту зразка,

χ_p – парапроцесна складова питомої сприйнятливості α -фази зразка

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

Слід зазначити те, що існуючі в даний час методи визначення вкрай низького вмісту α -фази не враховують намагніченість парамагнітного аустеніту, що приводить до дуже значних похибок при визначенні такої кількості α -фази. Наприклад, помилка складає більше 1000 % при вмісті α -фази 0,005 %; 80 % при 0,1 % α -фази і лише $\sim 3\%$ – при 2,5...3,0 % α -фази. При досить сильних постійних магнітних полях, у нашому випадку від $2,0 \cdot 10^5$ до $6,0 \cdot 10^5$ А/м, залежність $\chi=f(1/H)$ для аустенітних сталей є лінійною (χ – загальна питома магнітна сприйнятливість зразка ($\text{м}^3/\text{кг}$), де H – напруженість магнітного поля.

Кількість феромагнітної фази в об'ємних відсотках визначили за формулою [52]:

$$P_\alpha = \frac{\sigma_m}{\sigma_\alpha} \cdot 100\% = \frac{[\chi - (\chi_0 + \chi_p)] \cdot H}{\sigma_\alpha} \cdot 100\% = \frac{[\chi - \chi_\infty] \cdot H}{\sigma_\alpha} \cdot 100\%, \quad (2.4)$$

де σ_m – феромагнітна складова питомої намагніченості насичення зразка, який містить α -фазу у кількості x % ($(A \cdot \text{м}^2)/\text{кг}$); σ_α – питома намагніченість насичення зразка, який містить α -фазу в кількості 100 % ($(A \cdot \text{м}^2)/\text{кг}$); χ – загальна питома магнітна сприйнятливість зразка; χ_0 і χ_p – парамагнітна і парапроцесна складові питомої сприйнятливості аустеніту і α -фази зразка; $\chi_\infty = \chi_0 + \chi_p$ результуюча питома магнітна сприйнятливість (χ_0 – парамагнітна

сприйнятливості аустеніту зразка, χ_p – сприйнятливості парапроцесу α -фази зразка); H – напруженість поля.

Величину χ в області полів насичення визначали експериментально на установці - магнітометричні терези.

2.4 Метод Фарадея для вимірювання магнітної сприйнятливості

На даний час для вимірювання магнітних властивостей слабомагнітних сталей та сплавів існує достатньо велика кількість методів, кожен має, як низку переваг так недоліків.

Для вимірювання магнітної сприйнятливості широко використовують метод Фарадея.

У досліджуваного зразка вимірюють силу, яка діє при цьому, зразок знаходиться під дією постійного градієнту магнітного поля, яка діє на зразок. Найчастіше для вимірювання сили використовують маятникові магнітні терези, в яких зразок при його взаємодії з градієнтним магнітним полем електромагніту переміщується в горизонтальному напрямку. Особливістю установок є спосіб реєстрації відхилення від нульового положення зразка, наприклад, магнітометричні терези з уніполярно-астатичною системою і механіко-магнітним зачепленням призми або з фотоелектричною реєстрацією нульового положення. Однак зміна величини магнітного поля, що діє на зразок, реєстрація нульового положення (електромагнітна компенсація) здійснюються вручну. Тому актуальною є розробка автоматизованої системи управління експериментом з реєстрацією вимірювань в електронному вигляді. Це дозволило б зменшити час дослідження та запобігти похибок, зумовлених “людським” фактором [34].

До автоматизації установка було представлено магнітометричні терези з уніполярно-астатичною системою і механіко-магнітним зачепленням призми (рис.2.1) [33]. Магнітометрична установка містить: кварцовий стержень 1, підвішений на біфілярі 2, уніполярний магнетик 3 з лезом 4, дзеркало 5, ампулу 6 для розміщення еталонного і досліджуваних зразків сталі; демпфера 7, компенсаційну котушку 8 з магнітиком 9, шкали 10 з освітлювачем 11, підвісу 12. Уніполярний магнетик 3 це є однополюсний магнітик, що представляє собою два магнітних паралелепіпеда, які з'єднані однаковими полюсами з метою уникнення впливу зовнішніх магнітних полів [34].

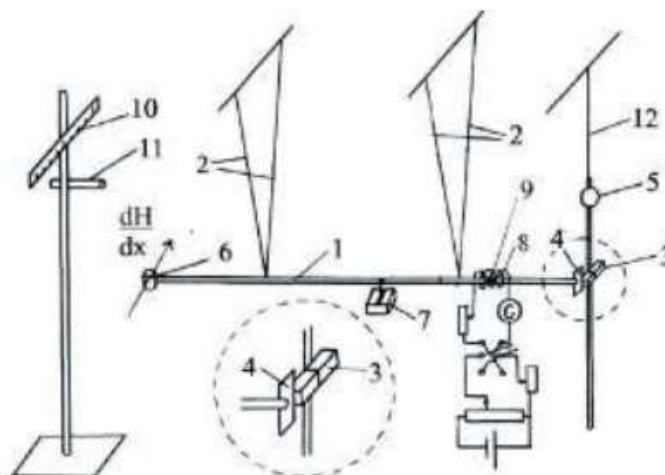


Рисунок 2.1 - Магнітометрична установка для визначення питомої парамагнітної сприйнятливості [34]

Спосіб дії установки: ампула 6 зі зразком масою $m_{зр}$ розміщується під постійним градієнтом магнітного поля. Під дією магнітного поля H ампула 6 зі зразком зміщується. Поступальний рух стрижня 1 через магнітне зчеплення леза 4 з магнітиком 3 переходить в обертальний рух підвісу 12, на якому розташоване дзеркало 5. Від освітлювача 11 падає промінь світла на дзеркало 5, від якого відбивається на шкалу 10. Для повернення світлового променя на

шкалі в нульове положення використовують компенсаційну котушку 8, в якій знаходиться магнітик 9, прикріплений до стрижня 1. При цьому вимірюється величина компенсаційного струму $I_{зр}$, який подається на компенсаційну котушку 8. Питому магнітну сприйнятливість визначали відносним методом за формулою:

$$\chi = \frac{I_{зр} \cdot m_{ет}}{I_{ет} \cdot m_{зр}} \chi_{ет}, \quad (2.5)$$

де $I_{зр}$ і $I_{ет}$ – відповідно компенсаційні струми для зразка і еталону,
 $m_{зр}$ і $m_{ет}$ – відповідно маса зразка і еталону,
 $\chi_{ет}$ – магнітна сприйнятливість еталону.

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

$$I_{зр} = I'_{зр} \pm I_{амп}, \quad I_{ет} = I'_{ет} \pm I_{амп}, \quad (2.6)$$

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 магнітометричної установки обрано стандартну речовину – сіль Мора ($\text{Fe}_2\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), для якої відома питома магнітна сприйнятливість. Наприклад для $T = 293 \text{ K}$ $\chi_{ет} = 3,23 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$.

Автоматизації підлягав саме спосіб реєстрації даної величини відхилення, а від нульового розташування зразка, в залежності магнітного поля діючого на зразок та керуванням струмом компенсації. Був вилучений магнітно-механічна суміш стрижня з підвісом 12 (див. рис. 2.1). Визначення самого зміщення

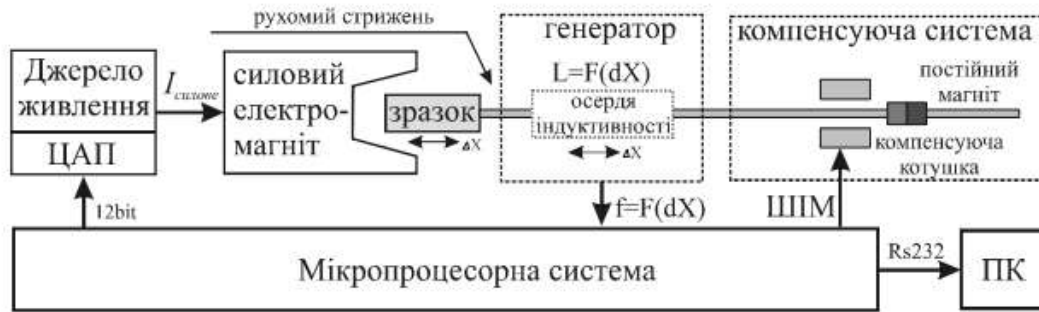


Рисунок 2.3 - Функціональна блок-схема установки для автоматичного управління процесом вимірювання магнітної сприйнятливості [33].

Алгоритм роботи даної установки наведено на рис 2.4. Тобто спочатку роботи МПС буде проходити базова ініціалізація початкового стану (встановлює струми силового електромагніта і компенсуючої котушки на нульовому рівні заданням цифрового коду DAC = “0” для ЦАП та сигналу PWM = 0 для компенсуючої котушки.

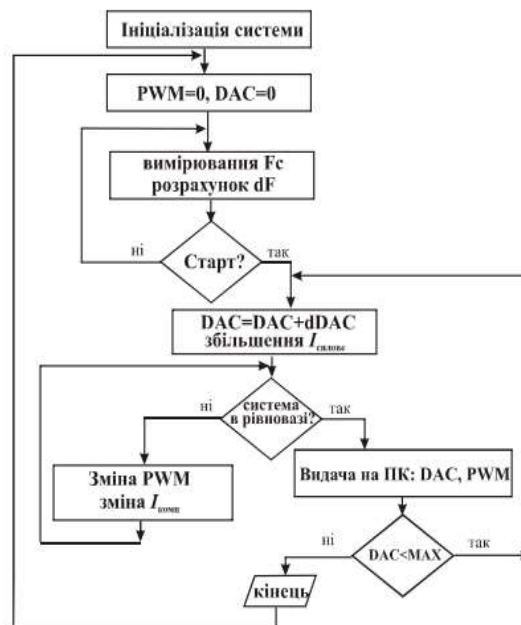
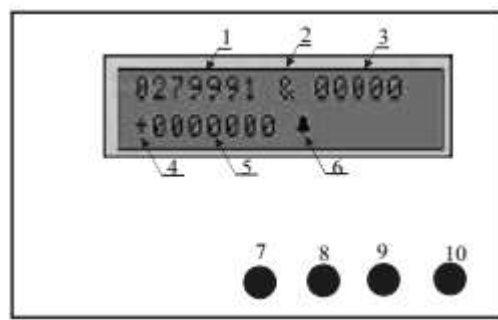


Рисунок 2.4 – Алгоритм роботи мікропроцесорної системи

Інтерфейс користувача наведено на рисунку 2.5. На старті початку експерименту установка буде розпочинати збільшення струму силового магніту, з поступовою зміною саме цифрового коду ЦАП. Під дією магнітного поля зразок втягується або виштовхується із зазору магніту. В першому кроці буде зміна струму $I_{\text{силове}}$ система визначає полярність напруги на компенсуючій котушці. При частоті генератору 300 кГц чутливість датчика складає приблизно 250 Гц/мкм. Все залежить від величини та знаку зміни поточної частоти генератора F_c від зразкової частоти, яка відповідає нульовому положенню, МПС формує сигнал для встановлення необхідної полярності напруги та широтно-імпульсний сигнал ШІМ (8кГц) для задання величини компенсуючої напруги в котушці. При певному досягненні положення рівноваги нашого зразка, МПС виконує передачу даних на комп'ютер для запису даних у текстовий файл.



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

Рисунок 2.6 – Інтерфейс користувача .

Далі МПС збільшує поточне значення струму $I_{\text{силове}}$ через збільшення сигналу ДАС, і увесь процес повторюється. Тобто, після досягнення

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

Отже, розроблена установка дозволяє автоматично отримувати залежність струму компенсації зміцнення зразка від струму силового магніту у вигляді файлу на ПК. Час отримання експериментальних даних залежить від кількості точок, діапазон вимірювання приблизно 5..9 нам знадобиться на одне вимірювання.

Температурний модуль забезпечує автоматичну зміну або підтримку заданої температури. При досягненні заданої температури мікропроцесорна система автоматично виконує посилку даних на ПК.

“Спосіб визначення питомої магнітної сприйнятливості наведено у патенті “ [33].

1) Вибрано матеріали і методи їх досліджень, які необхідні для оцінки атомно-магнітних станів та перетворень парамагнітного аустеніту чутливим магнітометричним методом .

2) Для вимірів питомої магнітної сприйнятливості і низького вмісту α -фази використовувались магнітометричне обладнання типу терезів Фарадея.

3) Вдосконалена апаратна частина і автоматизована процедура управління експериментом з використанням МПС.

3 ВПЛИВ МАГНІТНОГО СТАНУ АУСТЕНІТНОЇ МАТРИЦІ НА ВЛАСТИВОСТІ ТА ФОРМУВАННЯ МАРТЕНСИТНИХ ФАЗ

Виникла необхідність проведення дослідів з використанням особливо чутливого магнітометричного методу, котрий дозволяє при низькому вмісту α' - мартенсита (від 0.005%) з урахуванням намагніченого парамагнітного аустеніту, знайти у Fe – Cr – Ni сталей при кімнатній температурі початкову стадію виникнення ϵ - мартенсита деформації та простежити за їх поведінку при наступній пластичній деформації стисненням, та водночас з цим була поставлена чітка задача – експериментальним шляхом визначити число значень питомої магнітної сприйнятливості ϵ - мартенситу.

3.1 Експериментальні результати дослідження та їх обговорення

Для дослідів, згідно магнітометричної діаграми видів стабільних та нестабільних сталей [16], були обрані аустенітні хромонікелеві сталі трьох типів:

1. Сталі 10X23N18 [18], 14X17N18 [21] з стабільним аустенітом;
2. Сталі 10X16N13 [18], 12X15N16 [19] з помірно нестабільним аустенітом;
3. Сталі 12X18N10T (10.46% Ni) [20], 12X18N10T (9.42% Ni) [21], 10X18N9-Y (9.20% Ni) [22], с нестабільним аустенітом хімічний склад наведений в таблиці 2.1

Сталі 10X23N18, 10X16N13, 14X17N18, 10X18N9, 12X15N16 та 12X18N10T до пластичної деформації були повністю аустенізовані, в слід чого,

являються парамагнетиками, а сталь 12Х18Н10Т після аустенізації містила феромагнітний-ферит близько 0.078%. Згідно термодинамічній схемі [17], структурні зміни характеризуються декількома інтервалами. Отже, оцінюємо ймовірність виникнення та наступну поведінку ϵ та α' мартенситів.

3.2 Діапазон деформацій, який не приводить до появи ϵ та α' мартенситів

Деформація стабільних сталей 10Х23Н18 до 55.90% (рис 3.1а) та 14Х17Н18 до 67.20% (3.1б) привела ріст питомої магнітної сприйнятливості першої сталі від початкового $\chi_{\gamma}^{\text{поч}} = 3.30 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ до максимальній $\chi_{\gamma\text{max}} = 3.72 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ (γ' – деформований аустеніт), а для другої сталі 14Х17Н18 з $\chi_{\gamma}^{\text{поч}} = 4.45 \cdot 10^{-8}$ до $\chi_{\gamma\text{max}} = 4.63 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. В обох інтервалах не було зафіксовано появи мартенситів (відсутність нахилу прямих (χ (1/H)).

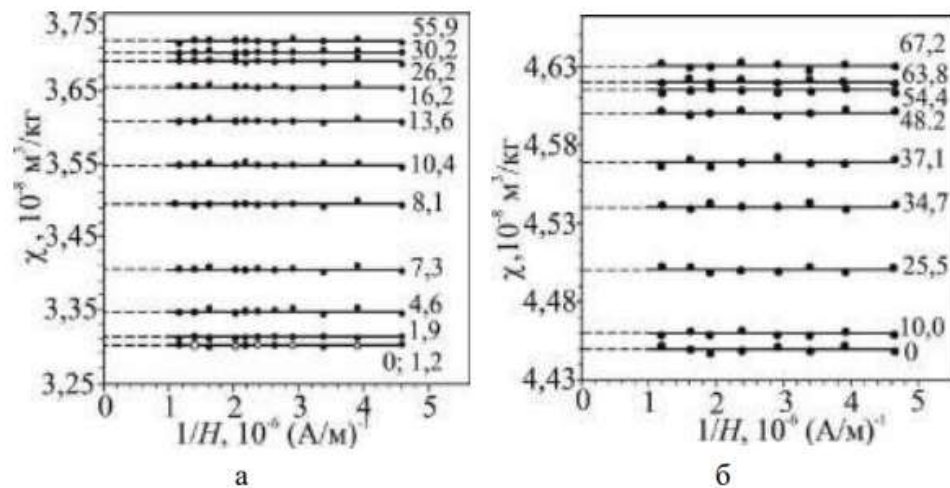


Рисунок 3.1 - Залежність питомої магнітної сприйнятливості χ від величини $1/H$, хромонікелевих сталей при різних ступенях пластичної деформації 10Х23Н18 та 14Х17Н18

Зі сказаного слід вважати, що при кімнатній температурі в стабільних сталях аж до великих деформацій (60...75%), не буде виникати ε та α' мартенситу.

3.3 Діапазон помірно нестабільного аустеніту, приводить його спочатку до максимальних змін його деформаційного стану, а потім до зародження в ньому ε та α' мартенситу

Тепер проаналізуємо групу сталей помірно нестабільних аустенітом (10X16H13 та 12X15H16), які до стиснення також були повністю аустенізовані (причому нахил прямих (χ (1/H). також був відсутній, рис 3.2).

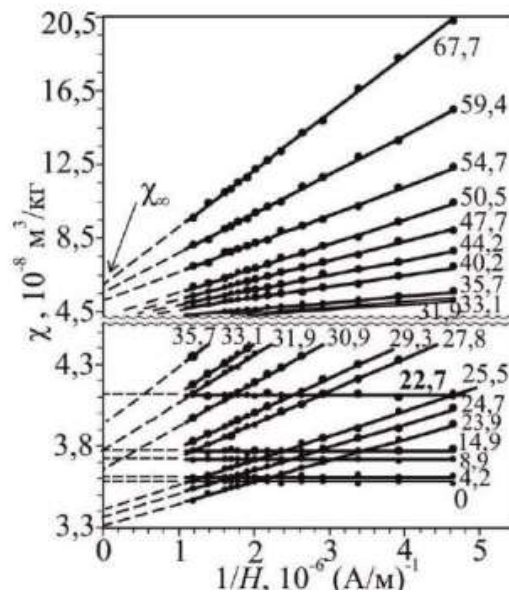


Рисунок 3.2 - Залежність питомої магнітної сприйнятливості χ від величини $(1/H)$, хромонікелевих сталей 10X16H13 при різних степенях деформації.

Отримані результати в ході експерименту на рис 3.2. Вихідне значення питомої магнітної сприйнятливості аустеніту сталі 10X16H13 до деформації становило $\chi_{\gamma}^{\text{поч}} = 3.58 \cdot 10^{-8}$ м³/кг, деформація 22.7% (рис 3.2, сама найвища горизонтальна пряма) привела до росту до максимальній $\chi_{\gamma\text{max}} = 4.10 \cdot 10^{-8}$ м³/кг, при наступному збільшенню деформації (23.5 – 35.5% рис 3.2), на відміну від стабільних сталей (10X23H18 та 14X17H18), з'явився нахил прямих (1/H), які пересікають серію горизонтальних прямих (інтервал 0-22.6%, рис.3.2), що свідчить про появу феромагнітного α' - мартенситу, а також ϵ -мартенситу. Оскільки, величина χ залежить від кількості фаз (аустеніту та мартенситу). Так в сталі 10X16H13 при деформації 23.9, 24.6, та 25.5% вже були зафіксовані перші зародки α' мартенситу в кількості (0.0105, 0.0113 та 0.0122 (рис 3.2, прямі для інтервалу деформацій 23.9 – 67.6%).

Також, стоїть звернути увагу на ті обставини, що в сталі 10X16H13 похилі прямі для інтервалу 23,9 – 35.6% пересікли горизонтальні прямі для інтервалу 0...22,6%.

Далі методом екстерполяції із графічної залежності χ_{∞} від $R\alpha'$ при $R\alpha \rightarrow 0$, для інтервалу деформації 23.9%...35% визначили значення $\chi_{\text{матр}}$, яке було нижче мінімального значення початкової парамагнітної сприйнятливості $\chi_{\gamma}^{\text{поч}} = 3,58 \cdot 10^{-8}$ м³/кг аустеніту для сталі 10X16H13. Тобто, на основі цього важливого факту, був сформульований висновок, що утворилася нова парамагнітна фаза, яка є тим самим ϵ -мартенситом деформації, враховує те, що даного типу мартенситу справедлива нерівність $\chi_{\epsilon} < \chi_{\gamma}^{\text{поч}}$

Отже, для сталі 10X16H13 деформація $D_{\text{поч}} = 23.9\%$ буде початковою, при якій утворюється ϵ -мартенсит та перша порція α' - мартенситу в кількості 0.011%. Після деформації $D_{\text{кінц}} = 40.2\%$ питома магнітна сприйнятливості стає $\chi_{\gamma\text{max}} = 4.05 \cdot 10^{-8}$ м³/кг, а ϵ -фаза при цьому повністю зникає, тобто трансформується в α' - мартенсит, кількість якого буде 0.049%. Подальша

деформація до 67,6% супроводжується тільки перетворенням γ'_{\max} в α' (похилі лінії не пересікають горизонтальні прямі).

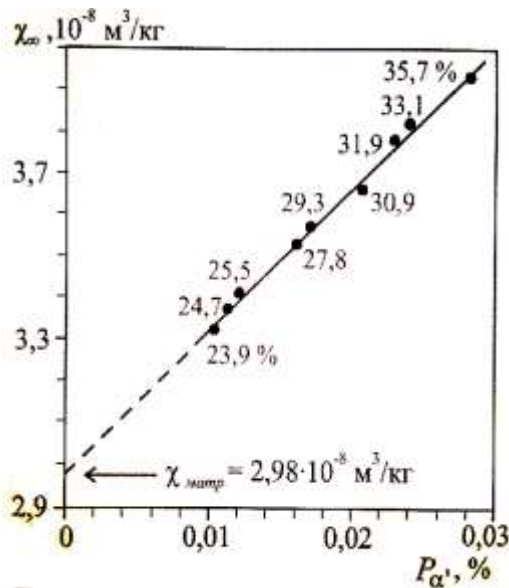


Рисунок 3.3 - Залежність питомої магнітної сприйнятливості χ_{∞} , хромонікелевої сталі 10X16H13 від кількості мартенситу деформації $P_{\alpha'}$, при різних ступенях деформації стиснення.

Аналогічні результати отримані для сталі 12X15H16 (рис.3.4), яка належить до другого типу сталей с помірно нестабільним аустенітом. Так на основі даних з рис,4 слідує те, що в сталі 12X15H16 початкова питома магнітна сприйнятливості аустеніту дорівнює $\chi_{\gamma}^{\text{поч}} = 3,75 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Деформація її становить до 26% (рис.3.4 сама висока горизонтальна пряма) з цього виходить значення $\chi_{\gamma_{\max}} = 4,05 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, при наступній деформації сталі 26.4 до 44.3% вже будемо фіксувати обидві мартенситні фази.

На основі експериментальних даних (рис.3.5) для даної сталі знаходимо значення $\chi_{\epsilon} + \chi_{\gamma} = 3,32 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, яке менше за $\chi_{\gamma_{\max}}$ та $\chi_{\gamma}^{\text{поч}}$. Під час деформації $D = 44,3\%$ отримали значення $\chi_{\infty} = 4,05 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, має підстави, що при такій деформації ϵ -фаза трансформується в α' -мартенсит.

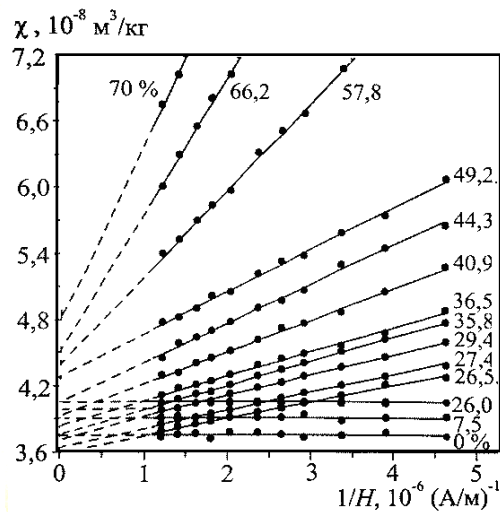


Рисунок 3.4 - Залежність питомої магнітної сприйнятливості χ від величини $(1/H)$, хромонікелевих сталі 12X15N16 при різних ступенях деформації.

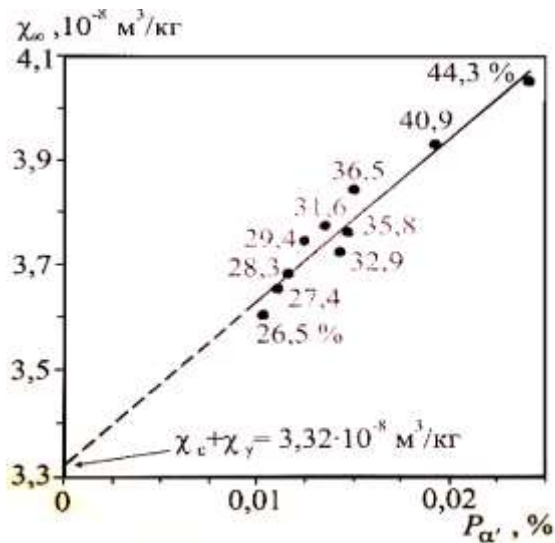


Рисунок 3.5 - Залежність результуючої питомої магнітної сприйнятливості χ_{∞} , хромонікелевої сталі 12X15N16 від кількості мартенситу деформації $P_{\alpha'}$, при різних ступенях деформації стиснення.

Наступна деформація до 70% супроводжується тільки перетворенням γ'_{\max} в α' , що і помічено на схемі утворення та транспортування мартенситних фаз, в таблиці 2.1. Відзначимо, те що в табл.3.1 зміни магнітної сприйнятливості χ

приведені з урахуванням співвідношення об'ємів фаз, формуються в межах об'ємів аустенізованих образців.

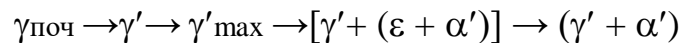
Таблиця 3.1 – Схема зародження ε та α' - мартенситів деформації в аустенітних хромонікелевих сталях з помірно-нестабільним аустенітом (на прикладі сталі 12Х15Н16)

Номер області, інтервал деформації	Фазові перетворення та граничне значення магнітної сприйнятливості	Коментарії
1 обл. D= 0...26%	$\gamma \rightarrow \gamma' \rightarrow \gamma'_{\max}$ $\gamma \rightarrow \chi\gamma' \rightarrow \gamma'_{\max}$ $\chi\gamma = 3,75 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ $\chi\gamma' =]3,75 \cdot 4,05 [10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ $\gamma'_{\max} = 4,05 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$	Магнітна сприйнятливість, яка характеризує магнітно-атомний стан парамагнітного аустеніту, з деформацією збільшується та досягає постійного максимального значення

Продовження таблиці 3.1

<p>2 обл. D= 26.5...44%</p>	<p>$\gamma'_{\max} \rightarrow \varepsilon \rightarrow \alpha'$ $\gamma'_{\max} \rightarrow \alpha'$ $\gamma'_{\max} \rightarrow \gamma'_{\max} + \chi_{\varepsilon} + \chi_{\alpha'}$ $\chi_{\varepsilon} + \gamma'_{\max} = 3,32 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ $P\alpha' = 0.01..0.025\%$</p>	<p>При збільшенні деформації в аустенітній матриці зароджується перші порції парамагнітного ε та феромагнітного α'-мартенситу деформації. Подальше накопичування α' за рахунок ε - мартенситу</p>
<p>3 обл. D = 49..70%</p>	<p>$\gamma'_{\max} \rightarrow \alpha'$ $\gamma'_{\max} \rightarrow \chi_{\varepsilon'} + \chi_{\alpha'}$ $P\alpha' = 0.03..0.11\%$</p>	<p>Подальше накопичування кількості α' - мартенситу ,буде за рахунок аустеніту</p>

Таким чином, припустимо наступну модель утворення та зникнення ε - мартенситу при пластичній деформації за кімнатною температурою в сталях 10X16H13 та 12X15H16 з помірною нестабільним аустенітом сталей:



3.4 Діапазон деформацій , крайнє нестабільного аустеніту, який приводить до утворення α' - мартенситу (без ϵ -фази) по одному з двох варіантів представлених нижче

3.4.1 Випадок утворення деформаційного аустеніту (без δ -фериту) з наступним зародженням в ньому α' - мартенситу

Розглянемо отримані результати для третього типу вкрай нестабільних сталей, які включають дві марки сталі 12Х18Н10Т (10,46% Ni) та 10Х18Н9 (9,20% Ni), котрі після стандартної аустенізації були повністю аустенізовані.

На малюнку 3.6 приведено отримані результати для даних сталей

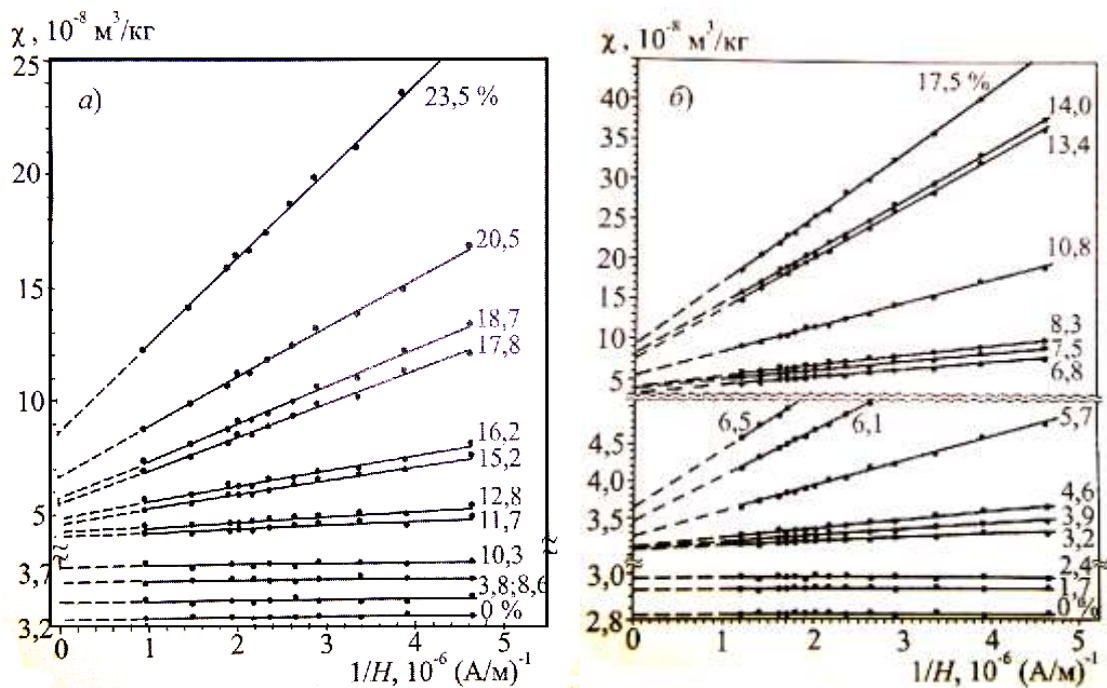
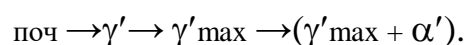


Рисунок 3.6 - Залежність питомої магнітної сприйнятливості χ від величини $(1/H)$, хромонікелевих сталей 12Х18Н10Т та 10Х18Н9 при різних ступенях деформації.

Отже, в певному інтервалі деформації $D = 0 \dots 10.3\%$ питома магнітна міцність сприятливості аустеніта сталі 12X18H10T збільшується від початкової $\chi_{\gamma}^{\text{поч}} = 3,27 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ до максимального значення $\gamma'_{\text{max}} = 3,94 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, а в інтервалі $D = 0 \dots 2.4\%$ для сталі 10X18H9 сприятливість збільшується від $\chi_{\gamma}^{\text{поч}} = 2,82 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ до максимального значення $\gamma'_{\text{max}} = 3,06 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. В даних деформаційних інтервалах 12X18H10T та 10X18H9 α' - мартенситу деформації не утворюється. (Відсутній нахил $\chi(1/N)$). Наступне збільшення деформації (11.6..23.5%) сталі 12X18H10T (10.46% Ni) і (3.18...14.72%) сталі 10X18H9 приводить до зародження і накопичування тільки α' - мартенситу за відсутністю ε - мартенситу (немає пересікання похилими лініями горизонтальних прямих). Тобто, як бачимо в цих повністю аустенізованих сталях 12X18H10T та 10X18H9 не виникає ε - мартенсит на відміну від другого типу помірно нестабільного мартенситу сталей (10X16H13 та 12X15H16).

Звідси виходить наступне, те що в аустенітних хромонікелевих сталях 12X18H10T та 10X18H9, не містять в початковому стані δ -фериту, мартенситна реакція проходить без участі ε - мартенситу по схемі:



3.4.2 Діапазон деформацій вкрай нестабільного аустеніту (в присутності δ -фериту), приводить відразу до зародження α' - мартенситу та в наступному його накопиченню

Тобто, розглянемо початкову стадію мартенситної реакції в край нестабільній сталі 12X18H10T, яка містить в початковому стані низьку кількість δ -фериту $P\delta = 0.078\%$ навіть після гарту в воді (рис 3.7а).

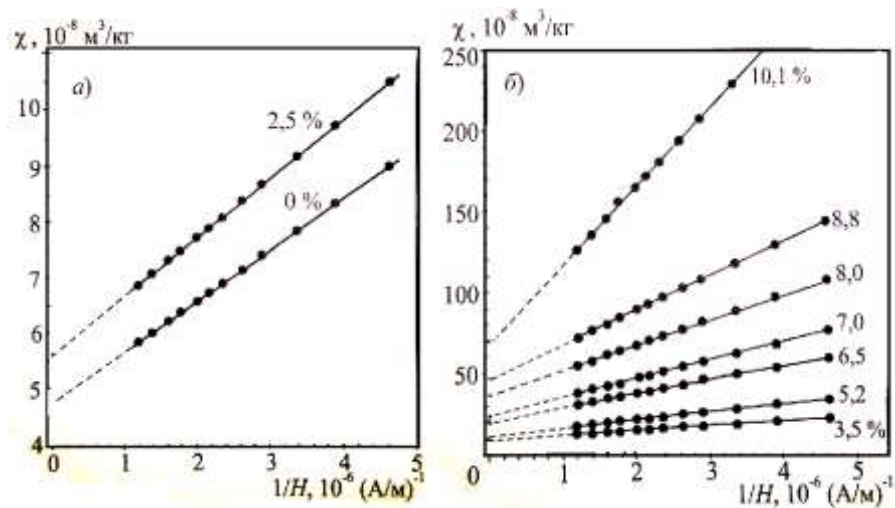


Рисунок 3.7 - Залежність магнітної сприйнятливості χ від величини $(1/H)$, хромонікелевих сталей при різних ступенях деформації. 12X18H10T при різних ступенях пластичної деформації.

Необхідно звернути свою увагу на той факт, що в даній сталі, на відміну від всіх інших вище приведених, відсутня деформація аустеніту γ' , так як до виникнення α' мартенситу, питома магнітна сприйнятливості аустеніту не зростає, а відразу, в перших же деформаціях утворюється α' - мартенсит (рис 3.7).

При цьому кількість δ -фериту не змінюється при збільшеному ступеню пластичної деформації. Отже, з отриманого нами експериментально

результуючого значення феромагнітних фаз P_{α} , кількість α' - мартенситу знаходили прямим відніманням $P_{\alpha'} = P_{\alpha} - P_{\delta}$. Виходячи із залежності χ^{∞} (P_{α}) методом екстерполяції знаходимо питому магнітну сприйтливості $\chi_{\text{матр.}} = 2.39 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ аустеніту (рис 3.8).

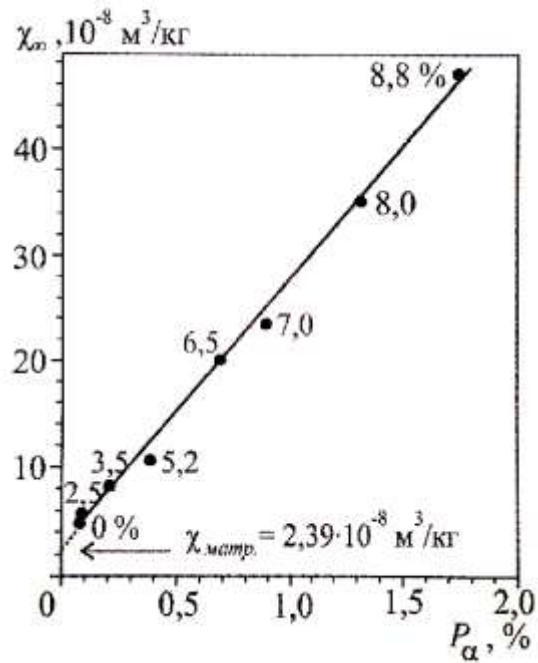


Рисунок 3.8 - Залежність результуючої питомої магнітної сприйтливості χ^{∞} сталі 12X18H10T від сумарної кількості ферофази P_{α} , при різних ступенях деформаціях стиснення (цифра біля крапки, %).

Отже, на основі експериментальних даних в край нестабільній сталі 12X18H10T, міститься низька кількість δ – фериту $P_{\delta} = 0.078\%$, навіть після попередній стандартній аустенізації в інтервалі пластичних деформацій стисненням від 0 до 10.1%, виникає та накопичується тільки α' - мартенсит без присутності в аустенітно-феритній матриці ϵ - мартенситу. Припустимо, виходячи з того що ми маємо, те що для цієї сталі мартенситна реакція проходить по наступній схемі (без участі ϵ - мартенсита): $(\gamma + \delta) \rightarrow (\gamma' + \delta + \alpha')$

3.5 Вплив магнітного стану аустенітної матриці на механічні властивості після пластичної деформації на прикладі хромонікелевої сталі 08X18H10T

Як нам відомо, що одна із найбільш переважних властивостей аустенітних хромонікелевих сталей це їх корозійна стійкість в різних середовищах. При цьому механічні властивості визначають їх наступне місце практичного застосування. Сталь 08X18H10T застосовуються в різних сферах виробництва наприклад: у будівельній, автомобільній, авіаційній галузях для виготовлення збірних і зварних конструкцій.

Але, при виробництві різноманітного обладнання дана сталь може піддаватися деформації, яка приводить до фазового $\alpha' \rightarrow \gamma$ перетворення і звідси приводить до зміни механічних властивостей. Вивчення залежності властивостей досліджуваних сталей від хімічного складу, температури, деформації, фазового складу присвячено достатньо багато робіт, наприклад [25,26]. Якщо порівняти то дуже мало робіт присвячених дослідженню кореляції між механічними й магнітними властивостями, особливо як в нашому випадку, коли сталь містить низьку кількість феромагнітної α -фази або повністю є парамагнітною. Низький вміст δ -фериту або α' -мартенситу приблизно ($\sim 0,005\% \dots 0,5\%$) по суті не може суто впливати на властивості сталей аустенітного класу. Припустимо, що основна причина зміни механічних властивостей криється не в наявності такою низької кількості α -фази, а в попередньо сформованій атомно-магнітній природі аустенітної матриці, яка характеризується інтегрованим параметром.

Отже, для встановлення кореляційної залежності механічних властивостей аустенітної хромонікелевої сталі 08X18H10T від парамагнітного стану аустенітної матриці (параметр χ_0) і виявлення впливу низького вмісту δ -

фериту було обрано п'ять плавок сталі 08X18H10T (хімічний склад див. в табл. 3.2), які містили P_{δ} в межах від 0,002 % до 0,3 %. Оскільки низький вміст δ -фериту розподілений нерівномірно за шириною листа, то з метою подальшого отриманих результатів вирізали 7...10 зразків у вигляді паралелепіпедів розміром $\sim 7 \times 3 \times 1$ мм³ з різних місць кожної плавки. Визначали питому магнітну сприйнятливості χ_0 аустеніту та кількість ферриту зразків кожної плавки. Потім обчислювали середній вміст P_{δ}

Таблиця 3.2 Хімічний склад сталі 08X18H10T, %

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Fe
0.08	0.8	2	9-11	0.02	0.035	17-19	0.3	65

Показники значень механічних властивостей (тимчасового опору розриву σ_b , умовної границі текучості $\sigma_{0.2}$, відносного видовження δ , показника пластичності Π , показника опору деформації Мартена-Волеца Π_1) для плавки сталі 08X18H10T були залучені з опублікованої іншими авторами роботи наведені в таблиці 3.3[27]. Для того, щоб уявити дану картину зв'язку механічних властивостей від магнітного стану аустеніту, було побудовано залежності σ_b , $\sigma_{0.2}$, δ , Π , Π_1 від питомої парамагнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту (не плутати з χ сталі, яка містить δ -ферит) та вмісту P_{δ}

Візьмемо до уваги те, що парамагнітна сприйнятливості χ_0 і P_{δ} відповідають початковому стану зразків сталі до механічних випробувань.

Таблиця 3.3 – Значення σ_b , $\sigma_{0.2}$, δ , $\Pi = \sigma_{0.2}/\sigma_b$, $\Pi_1 = (\sigma_b/\sigma_{0.2})\delta$, χ_0 аустеніту та P_δ фериту досліджуваних плавок сталі 08X18H10T (залучено з [25])

№	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	2,55	0,045
пл.2	654	332	65	0,508	128,0	2,56	0,16
пл.3	569	339	48	0,420	114,3	2,59	0,292
пл.4	582	245	55	0,421	130,7	2,68	0,176
пл.5	586	291	70	0,497	141,0	2,54	0,036

Аналіз одержаних кривих показує, а саме те, що тимчасовий опір розриву σ_b , умовна границя текучості $\sigma_{0.2}$, відносно видовження δ , показник пластичності Π , показник опору деформації Мартена-Воlessa Π_1 зменшуються зі збільшенням χ_0 (рис. 3.9, 3.10, 3.11).

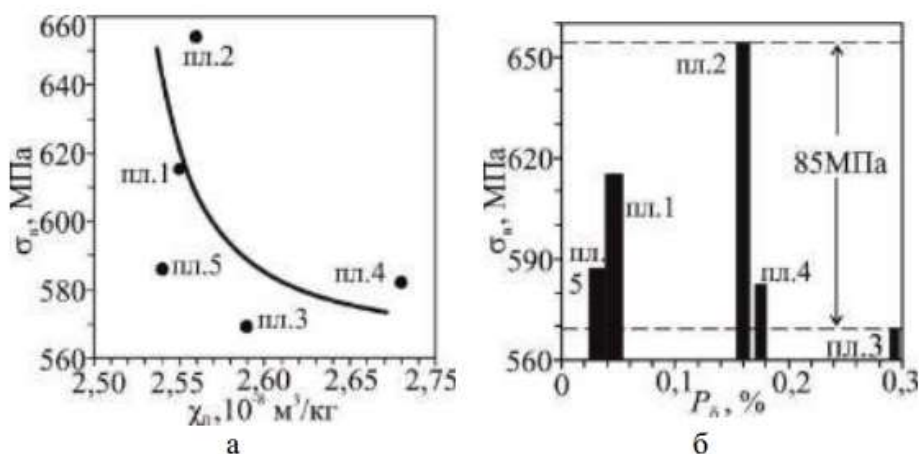


Рисунок 3.9 – Тенденція зміни величини тимчасового опору розриву σ_b від питомої парамагнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту в початковому стані і вмісту P_δ δ -фериту для плавок сталі 08X18H10T

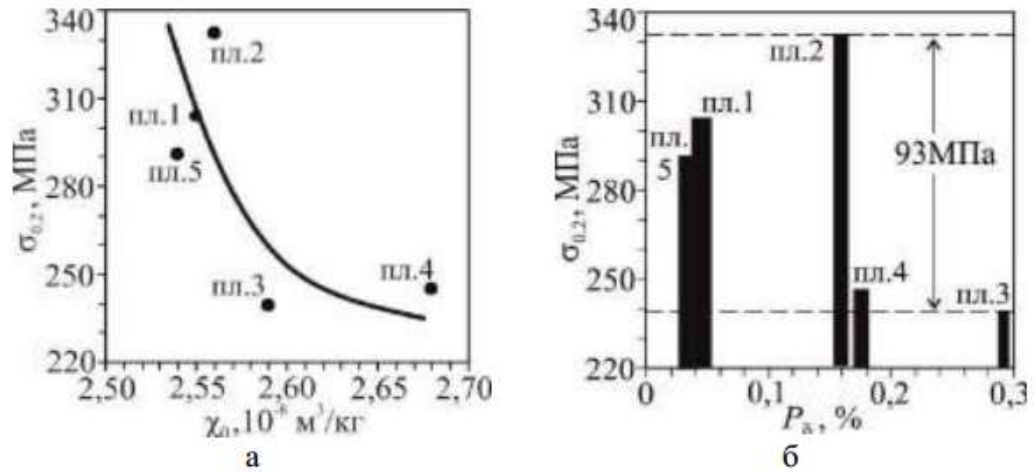


Рисунок 3.10 – Тенденція зміни величини умовної границі текучості $\sigma_{0.2}$ (залучено з [25]) від питомої магнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту в початковому стані і вмісту P_{δ} δ -фериту для плавки сталі 08X18N10T

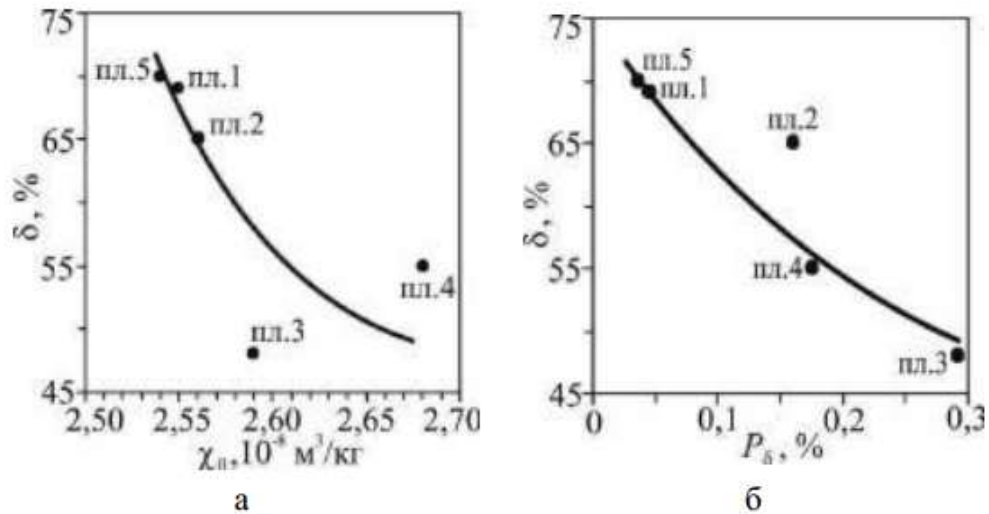


Рисунок 3.11 – Тенденція зміни величини відносного видовження δ (залучено з [25]) від питомої парамагнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту і вмісту P_{δ} δ -фериту для плавки сталі 08X18N10T

Як вже було згадано раніше, аустеніт за магнітним станом є парамагнетиком і χ_0 представляє суму орбітальних і спінових моментів атомів в одиниці маси за умови одиничного значення магнітного поля. Нагадаємо те, що

для парамагнетиків має місце орієнтаційний ефект – тобто зовнішнє магнітне поле намагається повернути всі вектори магнітних моментів атомів вдовж напрямку магнітного поля. Для його існування необхідно, щоб електронні оболонки атомів мали некомпенсовані або скомпенсовані магнітні моменти залежно від теплової енергії.

На підставі цього, можливо припустити те, що механічні властивості сталі будуть залежать від результуючого орбітального і спінового моменту одиниці маси аустеніту. Це означає те, що чим більший цей сумарний магнітний момент, то більша χ_0 , тобто менші показники (значення) механічних властивостей. Для з'ясування ролі впливу δ -фериту на механічні властивості було побудовано експериментальні залежності σ_v , $\sigma_{0.2}$, δ , Π , Π_1 від кількості P_δ δ -фериту (див. рис. 3.9б, 3.10б, 3.11б та рис. 3.12б, 3.13б). Значний вплив на механічні властивості такого низького вмісту δ .

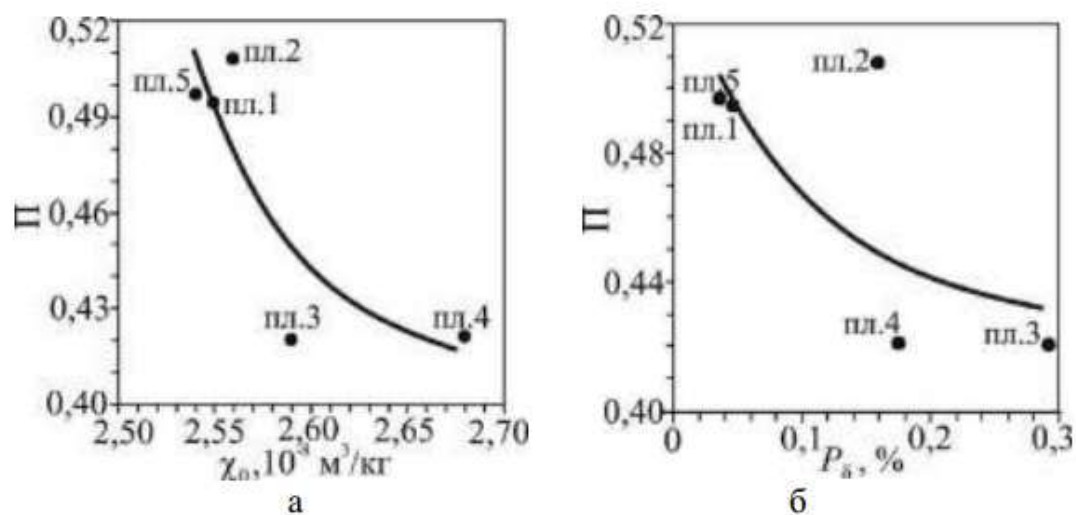


Рисунок 3.11 – Тенденція зміни величини показника пластичності $\Pi = \sigma_{0.2}/\sigma_v$ (залучені з [25] від питомої парамагнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту від вмісту P_δ δ -фериту для плавок сталі 08X18H10T

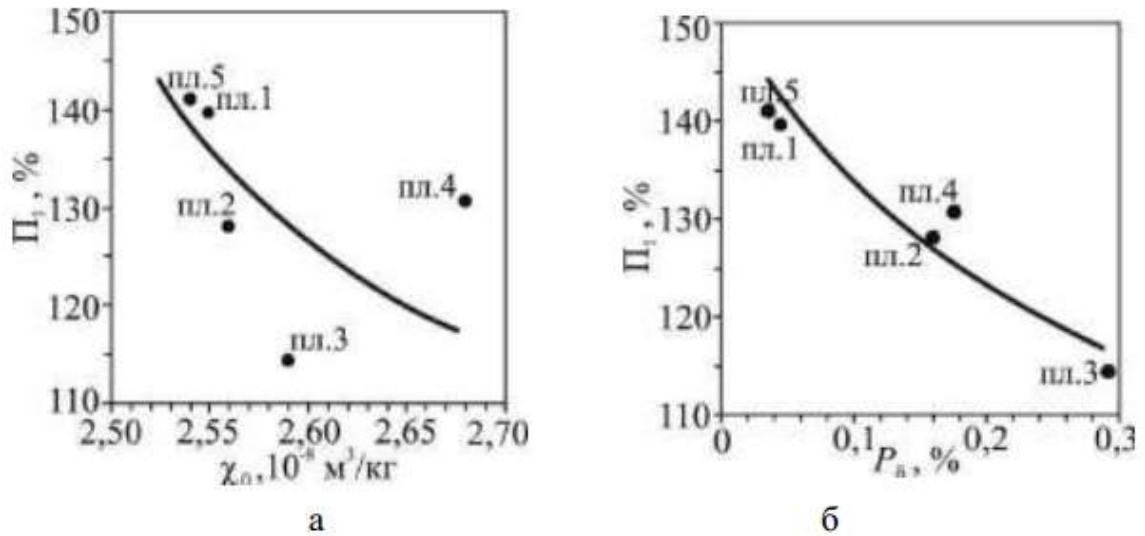


Рисунок 3.12 Тенденція зміни величини показника опору деформації Мартена-Волеса $\Pi_1 = (\sigma_{\delta}/\sigma_{0.2})\delta$ (залучені з [25]) від парамагнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту та вмісту P_{δ} δ -фериту для плавок сталі 08X18N10T

На рис. 3.13 спостерігаємо, що кількість δ -фериту буде корелювати з питомою парамагнітною сприйнятливістю χ_0 аустеніту, отже буде залежить від атомно-магнітного стану аустеніту. Кількість δ -фериту перебуває в термодинамічній рівновазі з станом аустеніту, котрий характеризується параметром χ_0 . Найменше порушення такого рівноважного стану приводить до зміни кількості δ -фериту в аустенітній матриці [28]. Тому виникає побічна залежність механічних властивостей (σ_{δ} , $\sigma_{0.2}$, δ , Π , Π_1) від вмісту P_{δ} δ -фериту, який, в свою чергу, буде залежить від атомно-магнітного стану аустеніту, тобто від параметру χ_0 . Тому можна припустити те, що низький вміст δ -фериту побічно впливає на механічні властивості, тобто є мірою (індикатором) зміни механічних властивостей.

Отже зміна механічних властивостей досліджуваної сталі може визначатися атомно-магнітним станом аустенітної матриці, який в свою чергу визначається питомою парамагнітною сприйнятливістю аустеніту. Але з іншого боку, зміна значень механічних властивостей може побічно визначатися

наявністю низького вмісту δ -фериту в аустенітній матриці: тобто, чим більше δ -фериту, тим менші значення механічних властивостей і навпаки.

Таким чином припускається те, що наявність низького вмісту P_{δ} δ -фериту ($\sim 0,005 \dots 0,3$ %) побічно визначає зміну механічних властивостей через те, що P_{δ} залежить від питомої парамагнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту (тобто із збільшенням χ_0 зростає P_{δ}

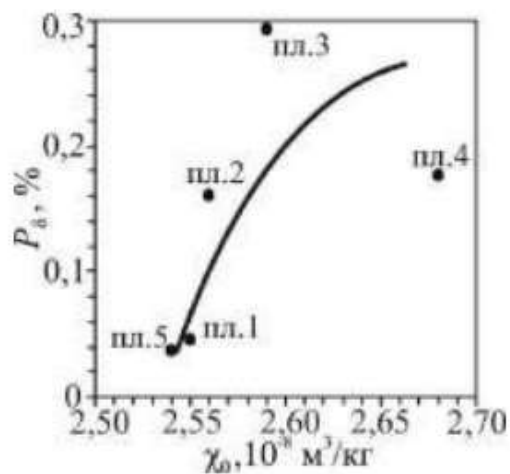


Рисунок 3.13 – Тенденція зміни кількості P_{δ} δ -фериту від питомої парамагнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту для плавок сталі 08X18H10T

3.6 Залежність мікротвердості аустеніту від вмісту Ni в хромонікелевих сталях на прикладі X17H(8...16)T

Мікротвердість структурних складових отриманих для досліджень нами сталей визначали за допомогою твердоміра ПМТ-3 (ГОСТ 9450-76) при навантаженні на індентор 0,49 Н. Фіксацію проводили в цифровому режимі, що

дозволило підвищити точність вимірювань, а також отримувати отримане збільшення мікроструктури приблизно до $\times 900$.

Дослідження проводили на растровому електронному мікроскопі РЕМ-1061, котрий обладнаний системою енергодисперсійного мікроаналізу. Хромонікелеві сталі отримували відкритою плавкою в ливарній лабораторії НУЗП в 10 кг індукційній тигельній печі з кислою футеровкою. Сама шихта складалась з брухти сталі 08кп за ГОСТ 10501-88, феросплавів (феросиліцій ФС65 за ГОСТ 1415-93, ферохром ФХ001А за ГОСТ 4757-91), марганцю електролітичного лускатого Мп 99,7 і порошку нікелевого електролітичного ПНЕ-2 (ГОСТ 9722-97).

Плавки проводили методом порційного розливання (залити стержні \varnothing 16 мм). Перша плавка (пл.1) містила (% мас.): 0,08 С; 1,2 Si; 0,015 Р; 0,015 S; 16,5 Cr; 7,52 Ni; 0,9 Mn; 0,03 Cu; 0,03 Mo; 0,01 Nb; 0,45 Ti; 0,02 Co; 0,005 Al. При цьому, внаслідок використання однієї початкової плавки, виключалося вплив небажаних технологічних параметрів, що дозволило визначити вплив зростаючого вмісту нікелю в сталі на досліджувані фактори. Далі після відбору кожної порції металу додавали порошки нікелю і хрому (для підтримки заданої концентрації), причому, вміст нікелю в отриманих плавках склало: пл.1 (X17N8T) – 7,52 %, пл.2 (X17N9T) – 8,57 %, пл.3 (X17N11T) – 10,63 %, пл.4 (X17N12T) – 11,99 %, Зразки піддавались гартуванню у воді 1050°C (витримка 30 хв) Фрагменти візуального спостереження при вимірюванні мікротвердості наведені на рис. 3.14 [29].

Залежність мікротвердості приграничної області аустенітного зерна і самого зерна від концентрації нікелю наведено на рис. 3.15

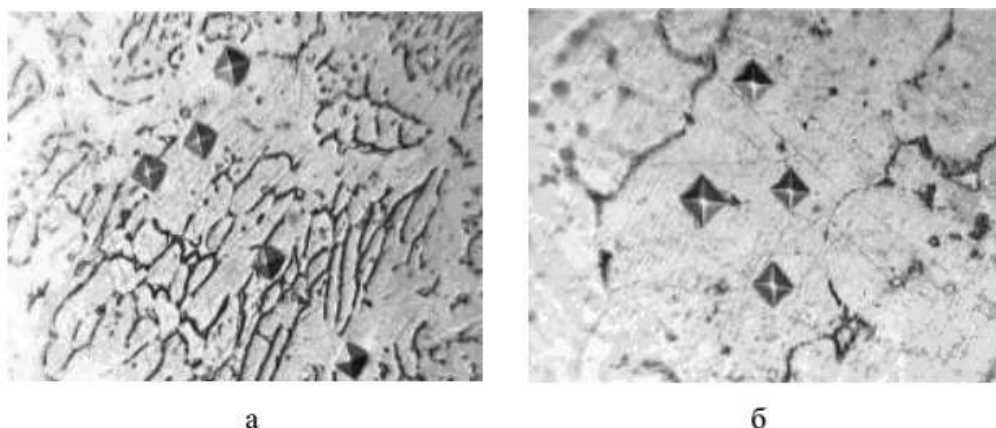


Рисунок 3.14 – Мікроструктура при визначенні мікротвердості всередині і приграничної області аустенітного зерна хромонікелевих сталей X17Ni8Ti (а) і X17Ni16Ti (б); $\times 200$

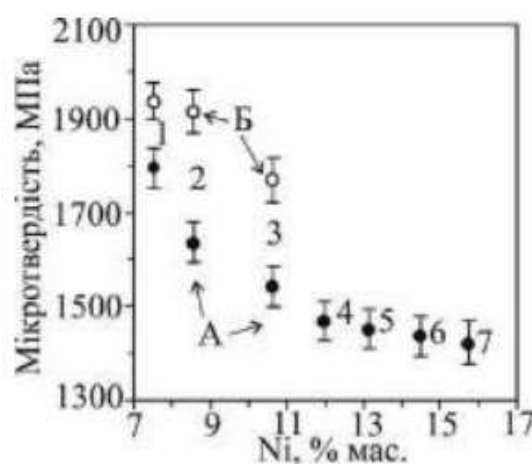


Рисунок 3.15 – Залежність мікротвердості аустенітного зерна (А) і приграничної області аустенітного зерна (Б) від вмісту нікелю у хромонікелевих сталях (цифри біля точок – номери плавки сталей з різним вмістом нікелю)

Для пояснення даної залежності розглянемо структуру сталей пл.1 (X17Ni8Ti) та пл.7 (X17Ni16Ti) (рис. 3.16) [29]. Методом енергодисперсійного аналізу виявили рівномірний розподіл усіх елементів усередині зерна й локалізований розподіл елементів Cr і Ni на границях зерен. Встановлено

(див. рис. 3.16а, лінія 2), що границя зерна, порівняно із зерном, перенасичена хромом на 20...23 % при зменшеному (на 20...26 %) вмісту нікелю (рис. 3.17)

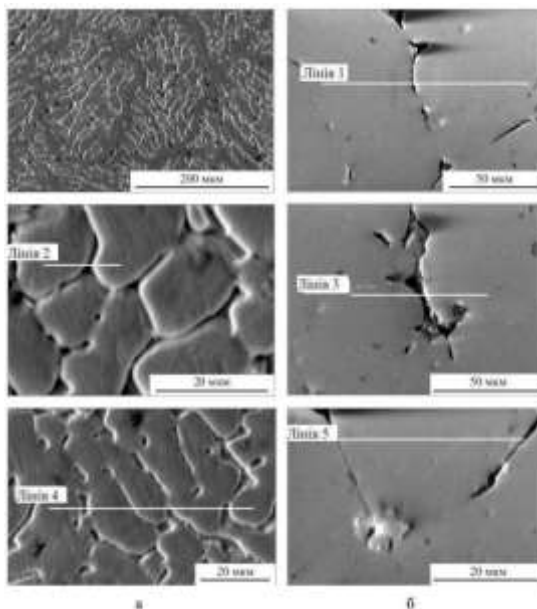


Рисунок 3.16 – Мікроструктура хромонікелевих сталей X17H8T (а) і X17H16T (б) при різному збільшенні (на знімках наведені лінії, уздовж яких досліджувалося розподіл хрому і нікелю; чисельні значення для лінії 2 представлені на рис. 3.17)

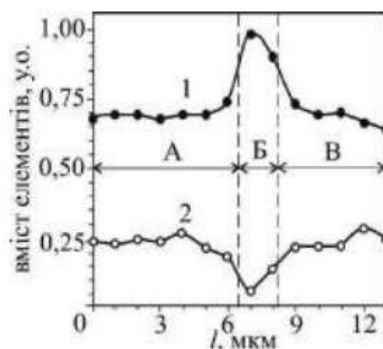


Рисунок 3.17 – Локалізований розподіл елементів Cr (крива 1) і Ni (крива 2) на границі зерен (інтервал Б) і всередині зерна (інтервал А і В) в сталі X17H8T (наведено розподіл елементів уздовж лінії 2 на рис. 3.16а)

Отже, слід зазначити те, що товщина приграничних зон зерен зменшується з кожною наступною плавкою (тобто зі збільшенням вмісту нікелю). Виявлені значні розбіжності концентрацій елементів на границях зерен разом з потовщенням приграничних зон – це свідчить про наявність іншої, відмінної від аустеніту, фази. Це підтверджено результатами магнітометричних досліджень.

Встановлено, що дані зразки сталей X17H8T, X17H9T, X17H11T містили феромагнітну фазу в кількості 2,99 %; 0,34 % і 0,03 %, відповідно (рис. 3.18)

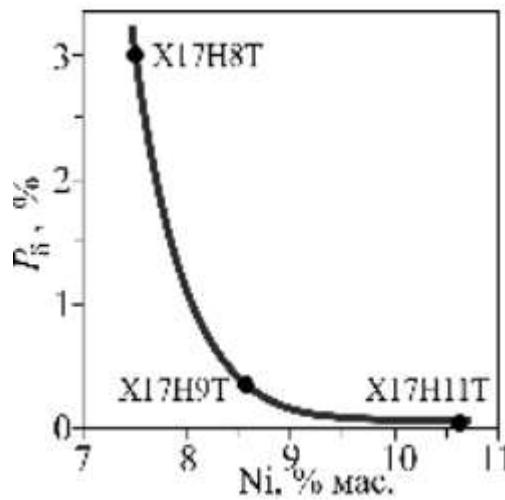


Рисунок 3.18 – Залежність кількості P_{δ} δ-фериту від вмісту нікелю в хромонікелевих сталях

На відміну від цього структура сталей X17H12T, X17H13T, X17H15T, X17H16T була повністю аустенітна і питома парамагнітна сприйнятливість аустеніту $\chi_0 = (3,05; 3,25; 3,61; 4,00) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, відповідно. Таким чином, зі збільшенням вмісту Ni від 11,99 % до 15,76 % парамагнітна сприйнятливість аустеніту даних плавко збільшується від $3,05 \cdot 10^{-8}$ до $4,00 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$.

Мікротвердість аустенітного зерна і приграничної області визначається в основному впливом саме двох елементів – нікелю і хрому. У приграничній

області змінюється співвідношення цих елементів – спостерігається локалізоване збільшення вмісту хрому і зменшення нікелю в порівнянні з їх концентрацією в обсязі зерна. Оскільки хром збільшує, а нікель зменшує твердість, то твердість приграничних феромагнітних прошарків буде вища від твердості самих зерен. Отримані дані дозволяють припустити, про наявність феромагнітної фази в приграничних зонах.

3.7 Види і границі станів деформаційної стабільності і нестабільності аустеніту

На рис. 3.19 представлена магнітометрична діаграма, отримана на підставі проведених досліджень і дає досить повну характеристику, що стосується областей нестабільного та стабільного аустеніту. Точка О (мінімум) відповідає вмісту нікелю $11,0 \pm 0,5$ % мас. Згідно з діаграмою спостерігається зростання величини сприйнятливості χ_0 по обидві сторони мінімального значення цього параметра. Таку різну поведінку функції $\chi_0 = f(\text{Ni})$ можна пояснити тим, що сталі лівої «гілки» є двофазні (А+Ф), що «посилює парамагнетизм» аустеніту (χ_0 зростає) із відносним зменшенням вмісту нікелю. При цьому зі збільшенням кількості δ -фериту (від 0,03 % до 4,20 %) від точки О до точки В зростає питома парамагнітна сприйнятливість χ_0 аустеніту від $2,80 \cdot 10^{-8}$ до $44,9 \cdot 10^{-8}$ м³/кг.

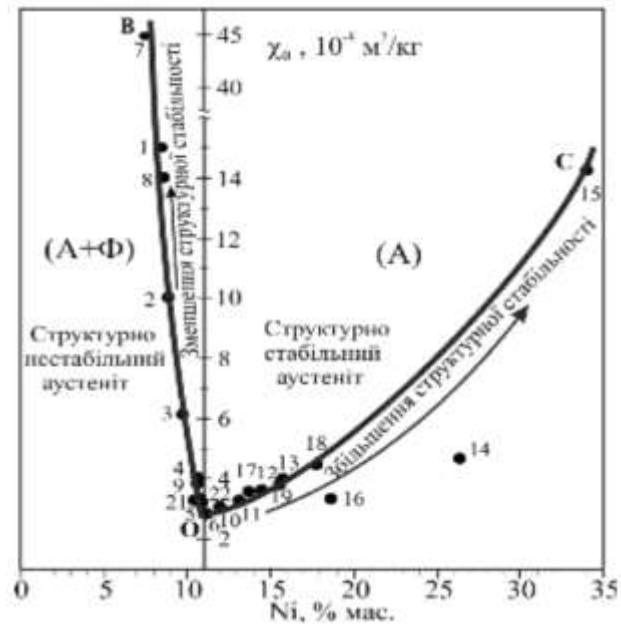


Рисунок 3.19 - представлена магнітометрична діаграма, отримана на підставі проведених досліджень

По суті крива ОВ характеризує плавний перехід із однофазного стану у двофазний ($A \rightarrow A+\Phi$) саме зі зниження вмісту нікелю від точки О до точки В підвищується кількості δ -фериту). Тому на підставі роботи можна припустити, що збільшення χ_0 на ділянці ОВ зумовлене поступовим переходом до домінуючої феромагнітної взаємодії між сусідніми атомами аустеніту і далекої антиферомагнітної.

В однофазній області (права частина діаграми) від точки О до точки С значення χ_0 також збільшуються.

Встановлено, що при пластичній деформації стисненням положення дійсної деформаційної мартенситної точки D_s залежить від парамагнітного стану аустеніту (χ_0) і який, в свою чергу, залежить від вмісту нікелю.

Зміщення цієї точки D_s у бік збільшення вказує на підвищення стабільності аустеніту (рис.3.19), що також є доказом

справедливості запропонованої діаграми. Отже, за значенням χ_0 можна оцінити ступінь стабільності аустенітних сталей до мартенситного перетворення.

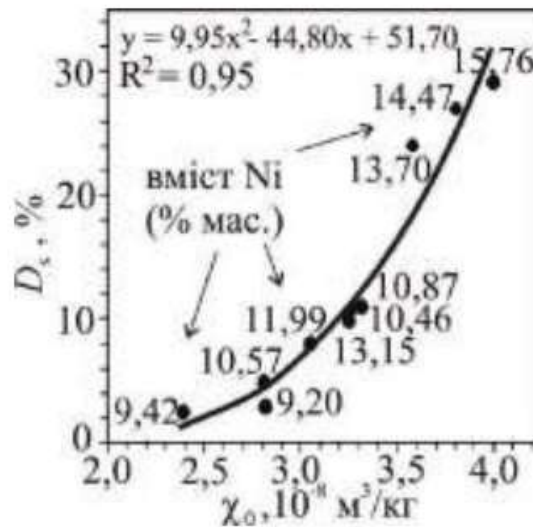


Рисунок 3.20 - Залежність дійсної деформаційної мартенситної точки D_s від питомої парамагнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту (до деформації) хромонікелевих сталей за варіацією вмісту нікелю

Зазначимо, що графік рис. 3.19 відноситься до правого “крила” діаграми (див. рис. 3.20), в якій практично відсутня феритна фаза. Таким чином, сталі які мають низький вміст δ -фериту ($P_\delta < 0,1 \%$), не порушують поведінку χ_0 у початковій стадії правого “крила” діаграми. Це пояснюється тим, що при вмісті δ -фериту 0,06...0,08 % магнітні моменти δ -фериту і аустеніту в зразку приблизно рівні. Тобто у нашому випадку, для зразків кількість δ -фериту P_δ 0.06 та 0.078% знаходиться в цьому інтервалу, що дозволяє знехтувати незначним вмістом δ -фериту і вважати такі сталі практично парамагнітними.

Отже, положення дійсних мартенситних точок D_s для сталей, відповідних граничному і більшому вмісту нікелю, підтверджує достовірність запропонованої діаграми, що стосується меж станів стабільності Fe-Cr-Ni сталей при пластичній деформації. Таким чином, деформаційна нестабільність

аустеніту відповідає сталям, що містять δ -ферит, а відносна стабільність – не містять або містять дуже низьку кількість феритної фази. Отже підведемо підсумок.

1) У аустенітних хромонікелевих сталях з стабільним аустенітом 10X23H18 та 14X17H18 при пластичній деформації стисненням в інтервалі (0...55.8%) та (0...67.1%), змінюється атомно-магнітний стан аустеніту, в результаті чого зростає питома магнітна сприйливість сталі 10X23H18 від $\chi\gamma^{\text{поч}} = 3,30 \cdot 10^{-8}$ м/кг і до максимального значення $\chi\gamma^{\text{max}} = 3,72 \cdot 10^{-8}$ м³/кг (γ' – деформований аустеніт), а в сталі 14X17H18 $\chi\gamma^{\text{поч}} = 4,45 \cdot 10^{-8}$ до $\chi\gamma^{\text{max}} = 4,63 \cdot 10^{-8}$ м³/кг по схемі $\chi\gamma^{\text{поч}} \rightarrow \chi\gamma^{\text{max}}$, і при цьому не виникають α' та ε - мартенсити. Так, як в цих деформаційних інтервалах не проходить структурно-фазових перетворень, але міняється атомно-магнітний стан (зростає питома магнітна сприйливість)

2) В сталях з помірно-нестабільним аустенітом 10X16H13 та 12X15H16 при пластичній деформації, було виявлено, що зароджуються α' та ε - мартенсити. Виявлені границі початкових деформаційних інтервалів появи та існування цих фаз. В початковому інтервалі деформації (0...23.9%) для сталі 10X16H13 та (0...26.5%) для сталі 12X15H16, магнітна сприйливість аустеніту зростає від $\chi\gamma^{\text{поч}} = 3,58 \cdot 10^{-8}$ м³/кг, деформація до максимального значення $\chi\gamma_{\text{max}} = 4,10 \cdot 10^{-8}$ м³/кг в сталі 10X16H13 від $\chi\gamma^{\text{поч}} = 3,75 \cdot 10^{-8}$ м³/кг до $\chi\gamma_{\text{max}} = 4,05 \cdot 10^{-8}$ м³/кг, в сталі 12X15H16 відповідно також. В цьому інтервалі α' та ε - мартенсити не зароджуються. При наступних деформаціях було виявлено границі деформації 23.8% (10X16H13) та 26.5% (12X15H16), при яких виникають ε - мартенсити та перші порції α' - мартенситу в кількості $R\alpha' = 0,011\%$ (10X16H13) та $R\alpha' = 0,010\%$ (12X15H16). При деформаціях вище 40.2% (10X16H13) та 49.2% (12X15H16) зникає ε - мартенсит, але продовжує накопичуватися α' - мартенсит, вміст якого при подальшому рості деформації

(та до кінцевих значень) складає 67.6% (10X16H13) та 70% (12X15H16), кількість утвореної фази становить $P_{\alpha'} = 0.251\%$ та $P_{\alpha'} = 0.110\%$ відповідно. В даних аустенітних хромонікелевих сталях при пластичній деформації проходить не тільки структурно-фазові перетворення, які приймають участь в даній схемі: $\gamma_{\text{поч}} \rightarrow \gamma' \rightarrow \gamma'_{\text{max}} \rightarrow [\gamma' + (\varepsilon + \alpha')] \rightarrow (\gamma' + \alpha')$. Але і зміна атомно-магнітного стану аустеніту, так як питома магнітна сприйнятливості становить: $\gamma_{\text{поч}} \rightarrow \chi\gamma' \rightarrow \chi\gamma'_{\text{max}} \rightarrow [\chi\gamma' + (\chi\varepsilon + \chi\alpha')] \rightarrow (\chi\gamma' + \chi\alpha')$.

3) В аустенітних хромонікелевих сталях з вкрай нестабільним аустенітом (після стандартної аустенізації), яка не містить в початковому стані δ – ферит (12X18H10T), так як вміст в початковому стані (після аустенізації) низький вміст δ – фериту (10X18H9), не виявлено присутність ε - мартенситу після деформаційної обробки.

Структурно-фазові перетворення в сталях з вкрай нестабільним аустенітом, не містять δ – ферит, проходить по схемі: $\gamma_{\text{поч}} \rightarrow \gamma' \rightarrow \gamma'_{\text{max}} \rightarrow (\gamma' + \alpha')$, а у сталях, які містять по схемі: $(\gamma' + \alpha') \rightarrow (\gamma' + \varepsilon + \alpha')$

Отже, зміни магнітного стану (магнітна сприйнятливості) для сталей які не містять та містять δ – ферит, проходить відповідно до наступних схемах: $\chi\gamma_{\text{поч}} \rightarrow \chi\gamma' \rightarrow \chi\gamma'_{\text{max}} \rightarrow (\chi\gamma' + \chi\alpha')$ та $\chi\gamma + \chi\delta \rightarrow (\chi\gamma' + \chi\delta + \chi\alpha')$

4) Низький вміст α -фази в інтервалі ($\sim 0,005 \dots 0,5$ %) не може істотно впливати на механічні властивості хромонікелевих сталей аустенітного класу (майже 100 % аустеніту). Припускається, що одна з причин зміни механічних властивості криється не в наявності низької кількості P_{δ} δ -фериту, а в попередньо сформованій атомно-магнітній природі аустенітної матриці, яка характеризується питомою парамагнітною сприйнятливості χ_0 аустеніту

5) Виявлено, що механічні властивості σ_v , $\sigma_{0.2}$, δ , Π , Π_1 досліджуваних хромонікелевих сталей залежать від питомої парамагнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту, а саме; із збільшенням χ_0 зменшуються значення механічних

властивостей. Кількість P_{δ} δ -фериту знаходиться в узгодженні з χ_0 аустеніту, зі збільшенням χ_0 зростає P_{δ} . Звідси низький вміст δ -фериту може бути мірою (індикатором) поведінки механічних властивостей аустенітних сталей.

б) Пропонується використовувати парамагнітну сприйнятливість χ_0 аустеніту, як параметр експрес-методу для визначення й прогнозування механічних властивостей аустенітних сталей .

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Тенденції розвитку світового ринку технологій

В цьому розділі охарактеризовано загальні тенденції розвитку технології, що досліджується в магістерській роботі. Оцінити рівень монополізації ринку, його структуру, обґрунтувати оптимальність теми роботи з позиції маркетингу.

Здійснено відбір ідей (товару, послуги, технології) за темою дипломного проекту;

В межах завдання послідовно проаналізовано та подано у вигляді таблиці 4.1 опис ідеї:

Таблиця 4.1 - Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування (сфери)	Вигоди для споживачів (користувачів)
Удосконалення методу дослідження структурних та магнітних змін в хромонікелевих сталях аустенітного класу	1. Будівельна	Отримані результати можна бути використовувати під час виробництва сталей, а також при удосконаленні технології деформаційної обробки.
	2. Автомобільна	
	3. Авіаційна	

Економія в галузі виробництва – в наш час одна з головних цілей будь-якої діяльності. Тому згідно табл. 4.2 було проаналізовано характеристику потенційного ринку.

Таблиця 4.2 – Потенційний ринок та його попередня характеристика

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Головні конкуренти	Науково-дослідні інститути України
		Наукові лабораторії галузевих підприємств
		Науково-дослідні інститути за кордоном
2	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає але повільно
3	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Потрібні великі інвестиції
4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Потрібні сертифікації на прилади

Отже, для розуміння потенційних клієнтів було складено нижче табл. 4.3, де розберемо доцільну характеристику наших потенційних споживачів, котрі зацікавлені нашим удосконаленим методом дослідження структурних та магнітних змін хромонікелевих сталей аустенітного класу в першу чергу.

Цільова аудиторія буде складатися з двох групових напрямків – це заводи та лабораторії технічного спрямування та напрямку, адже обидві ці цільові групи націлені на результат. Дані потенційні цільові групи мають потреби в покращенні експлуатаційних характеристик сталей, тому новий метод їх зацікавить.

Таблиця 4.3 – Попередня характеристика потенційних клієнтів

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги
1	Економія витрат на початковому етапі виробництва	Заводи	Обидві цільові групи націлені на результат та ефективність	Потребує покращення експлуатаційних характеристик від даного методу
2		Лабораторії технічного напрямку		Потреба в створенні цієї користі

- ідентифіковано стейкхолдерів, та здійснено їх пріоритизацію та побудовано Карту стейкхолдерів, яка дозволить візуалізувати картину взаємозв'язків стейкхолдерів.

Створення карти має відбуватись у 4 етапи.:

- 1) ідентифікація – окреслення актуальних груп стейкхолдерів;
- 2) аналіз – дослідження впливу та інтересів стейкхолдерів;
- 3) візуалізація – візуальна ілюстрація взаємодії зі стейкхолдерами;
- 4) пріоритезація – вибір ключових стейкхолдерів, які найкраще відповідали б істотним питанням, визначеним на попередньому етапі.

З метою відображення взаємозв'язків стейкхолдерів на карті має бути видокремлено три концентричних області, в яких розміщено всіх зацікавлених осіб інноваційного проекту за можливостями впливу на них ініціатора проекту.

Область стейкхолдерів – область повноважень/відповідальності ініціатора. Внутрішні зацікавлені сторони знаходяться в прямій підлеглихості

ініціатора, що дозволяє використовувати досить прості методи адміністрування проекту.

Залежні зацікавлені сторони формально ініціатору проекту не підлеглі, проте тісні ділові стосунки потребують на пошук взаємовигідних рішень та компромісів. На периферії ж знаходяться зовнішні зацікавлені сторони. Це область стейкхолдерів опосередкованого впливу на успішність реалізації інноваційного проекту. Карта стейкхолдерів подано на рис. 5.1

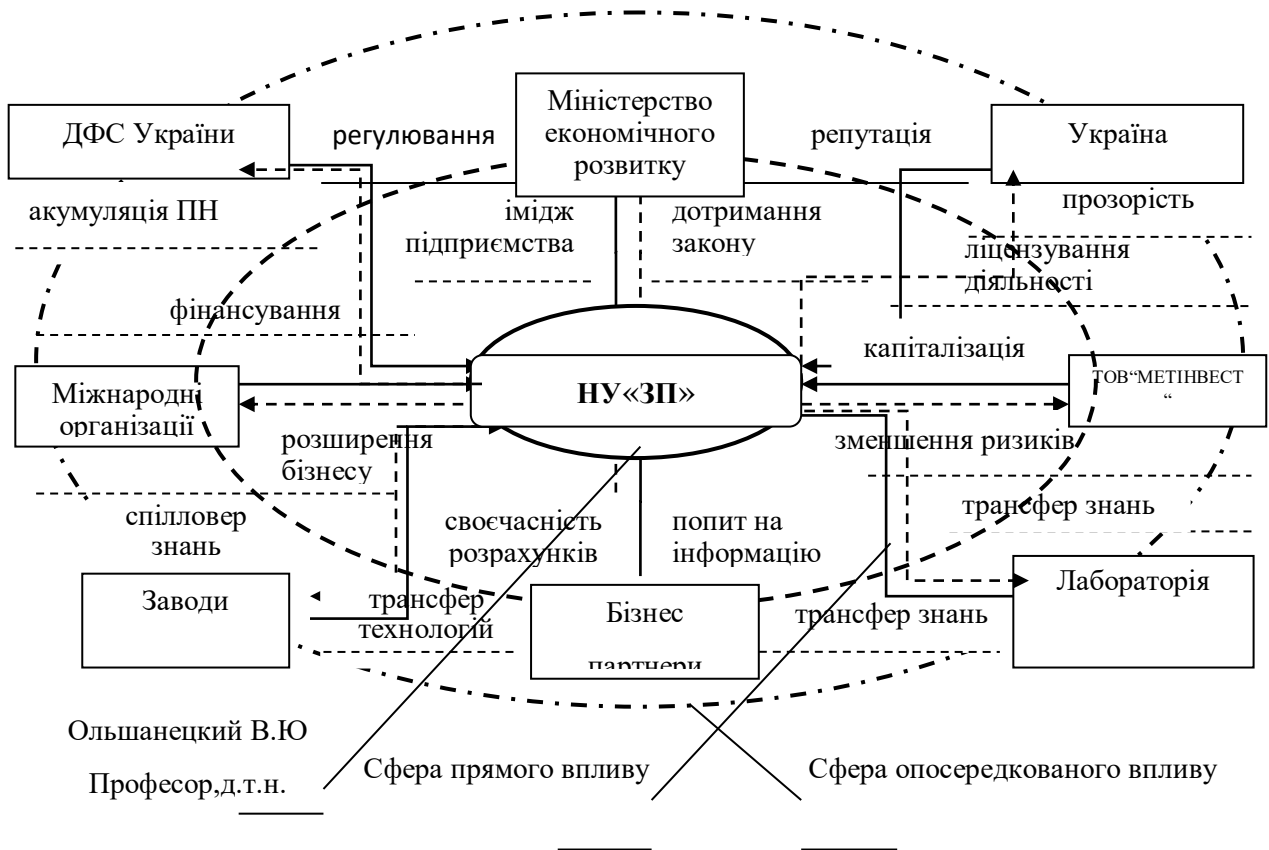


Рисунок 4.1 - Карта стейкхолдерів

4.2 Техніко-економічні розрахунки

Метою було удосконалити метод дослідження, тобто раніше потрібно було розрізати, дивитися і т.д, це займало доволі таки багато часу, а зараз все що потрібно від нас це правильно установити зразок в установку, щоб оцінити потім магнітні властивості, за якими потім за допомогою діаграм зв'яжемо їх. Це займає менше часу ніж витрачали раніше.

В таблиці 4.4 наведено Техніко-економічні показники виробів

Таблиця 4.4 Техніко-Економічні показники виробів.

Найменування виробу,	Базовий метод	Новий метод
Хромонікелеві сталі: 08X18H10T 10X23H18 14X17H18 10X16H13 12X15H16 10X18H9 12X18H10T	Зразки потрібно було розрізати, дивитися	Оцінити магнітні властивості та зв'язати їх по діаграмах (тобто займає менше трудомісткості)
Технологія	Технологія: Пластичної деформації	Технологія: Пластичної деформації
Програма випуску, шт	500	500

Метою даного підрозділу було обґрунтування доцільності використання нового методу.

Вартість сировини і основних матеріалів розраховано на основі технічно обґрунтованих норм використання на виробництво одиниці виробу, цін відповідних видів матеріальних ресурсів. При цьому враховуються транспортно-заготівельні витрати. Сума витрат на сировину та матеріали зменшується на величину зворотних відходів, які створюються в процесі виробництва.

Основна заробітна плата основних виробничих робітників на одиницю виробу розраховано на основі трудомісткості виготовлення та часових тарифних ставок.

Розрахунок основної заробітної плати на одиницю продукції наведений в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка)

Найменування операції	Норма часу, н-годин	Розряд робіт	Часова тарифна ставка, грн.	Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка),грн.
Дослідження змін утворення мартенситу за старою технологією	100 (замірів)	6	65	6500
Дослідження змін утворення мартенситу за новою технологією	5 (замірів)	6	65	325

Додаткова заробітна плата виробничих робітників виплачується за кількість та якість виконаної роботи. Вона вміщує надбавки і доплати, премії за виробничі результати, оплату чергових та додаткових відпусток та інше. Додаткова заробітна плата складає 40% від основної, та розраховано за формулою:

$$ЗД = ЗО \cdot \frac{КД}{100}, \text{ грн}$$

де КД – процент додаткової заробітної плати.

Відрахування на соціальні заходи являють собою форму перерозподілу доходу на фінансування суспільних потреб, розраховано згідно діючого законодавства і складають 22% від фонду оплати праці. Відрахування на соціальні заходи розраховано за формулою:

$$ВС = (ЗО + ЗД) \cdot \frac{Квс}{100}, \text{ грн}$$

де ПП – премії з прибутку, грн;

Квс - 22% відрахування на соціальні заходи.

Загальновиробничі витрати вміщують витрати на утримання та експлуатацію обладнання, цехові витрати і послуги виробничого характеру. Витрати на утримання та експлуатацію обладнання вміщують витрати на технічне обслуговування машин і механізмів, витрати на поточний ремонт обладнання, цехового транспорту та інструментів, знос малоцінних і швидкозношуваних приладів, заробітну плату допоміжного персоналу та інші. Цехові витрати вміщують витрати, пов'язані з поточним ремонтом та

амортизацією будівель цеху, заробітну плату керівників і спеціалістів цеху, витрати на охорону праці та техніку безпеки в цеху та інші.

Загальновиробничі витрати складають в середньому 400% до основної заробітної плати та розраховано за формулою:

$$ЗВВ = ЗО \cdot \frac{\alpha}{100}, \text{ грн}$$

де α - % загально виробничих витрат.

Вище наведені витрати складають виробничу собівартість.

Адміністративні витрати вміщують витрати, пов'язані з утриманням адміністративно - управлінського персоналу підприємства, а також утриманням та експлуатацією основних засобів загального виробничого призначення, охорону праці та техніку безпеки персоналу та інші. Адміністративні витрати складають в середньому 300% від основної заробітної плати основних виробничих робітників та розраховуються за формулою:

$$АВ = ЗО \cdot \frac{\beta}{100}, \text{ грн}$$

де β - % адміністративних витрат.

Витрати на збут складаються з витрат, пов'язаних з реалізацією продукції і вміщують витрати на тару та тарні матеріали, транспортування готової продукції, рекламу, витрати на маркетингові дослідження та інші.

Калькуляція собівартості технологічних випробувань наведена в таблиці 4.6

Таблиця 4.6 – Калькуляція собівартості і ціни виробу

Статті витрат	Базовий метод	Новий метод
Сировина і основні матеріали	500	500
Електроенергія технологічна t *Тариф	100*2.78 = 278, грн	5*2,78 = 13,9, грн
Основна заробітна плата основних виробничих робітників	6500	325
Додаткова заробітна плата основних виробничих робітників	2600	130
Відрахування на соціальні заходи з заробітної плати основних виробничих робітників	2002	100,1
Загальновиробничі витрати	26000	1300
Адміністративні витрати	19500	975

4.3 Економічна ефективність

Розраховано економічну ефективність інноваційного проекту за таким показником:

- економія витрат на дослідження;

Економія витрат в виробництві розраховується на основі економії конкретних видів матеріальних, трудових та інших ресурсів розраховується за формулою:

$$E = (C_b - C_n) * 500$$

E – економічний ефект від впровадження нового способу.

Де C_b – собівартість базового виробу

C_n – собівартість нового виробу

$$E = (6500 - 325) * 500 = 3087500 \text{ грн/рік}$$

В економічній частині за результатами науково-технічних досліджень, які були проведені у Національному Університеті «Запорізька Політехніка» (за тематичним планом) « Структурні та магнітні зміни в хромонікелевих сталей аустенітного класу при пластичній деформація стиснення» (керівник Ольшанецький В.Ю).

Було встановлено, що кореляційний зв'язок між атомно-магнітним станом аустеніту, механічними властивостями хромонікелевих сталей має науково-практичне значення. Отже, в роботі було запропоновано новий спосіб контролю та дослідження механічних та службових властивостей аустенітних сталей за допомогою питомої магнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту, тобто новий спосіб прискорює прогнозування механічних (тимчасовий опір розриву σ_b , умовна границя текучості $\sigma_{0.2}$, відносне видовження δ) властивостей аустенітних сталей. Завдяки удосконаленню ми розраховали технічно-економічну ефективність, та з'ясували те, що завдяки новому способу ми отримали гарну економію в електроенергії та загальнопромислових витратах, яка становить 5% від базової технологія(спосіб), а економічний ефект від

впровадження нової технології приніс в рік (сезон) 3087500 грн, це дуже гарний результат. Тому, отримані результати можуть бути використані під час створення та удосконалення технології деформаційної обробки, та під час виробництва сталей.

ВИСНОВКИ

Отже, підведемо підсумки даної дослідницької роботи. В ході досліджу було виявлено, що на механічні властивості хромонікелевих сталей, впливає температура розлиття, хімічний склад, термообробка, карбіди, шкідливі домішки тощо. Раніше не було виявлено єдиного фізичного параметру, який би одночасно враховував вплив вище вказаних факторів на властивості сталей. Тому в ході дослідницької роботи, було запропоновано дослідження за чутливим параметром – питому парамагнітну сприйнятливості χ_v , аустеніту.

Тобто, під час пластичної деформації, було доведено, що поряд зі зміною атомно-кристалічної структури, буде відбуватися зміна атомно-магнітного стану аустеніту, котрий в свою чергу характеризується питомою парамагнітною сприйнятливості χ_v , оскільки вона через електронну будову пов'язана зі станом аустенітної матриці та її дефектами.

Таким чином, при визначенні працездатності виробів із аустенітних сталей, було проведено дослідження зв'язку атомно-магнітного стану з корозійними та механічними властивостями досліджуваних нами сталей.

Для вимірів питомої магнітної сприйнятливості і низького вмісту α -фази було використано магнітометричне обладнання типу терезів Фарадея, але з вдосконаленою апаратною частиною і автоматизованим управління експериментом.

В ході досліджу, наприкладі поширеної в нашому регіоні хромонікелевої сталі 08X18H10T, було виявлено, що низький вміст α -фази в інтервалі ($\sim 0,005 \dots 0,5$ %) не може істотно впливати на механічні властивості сталей аустенітного класу (майже 100 % аустеніту).

Тобто, було експериментально доведено, що одна з головних причин зміни механічних властивостей криється не в наявності низької кількості δ -

фериту, а в попередньо сформованій атомно-магнітній природі аустенітної матриці, яка характеризується питомою парамагнітною сприйнятливістю χ_0 аустеніту.

Отже, було досліджено, що механічні властивості досліджуваних хромонікелевих сталей залежать від питомої парамагнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту, а саме зі збільшенням χ_0 зменшуються значення механічних властивостей. Кількість δ -фериту знаходиться в узгодженні з χ_0 аустеніту тобто, зі збільшенням χ_0 зростає P_δ . Звідси низький вміст δ -фериту є мірою (індикатором) поведінки механічних властивостей аустенітних сталей.

Тобто, доцільно використовувати парамагнітну сприйнятливість χ_0 аустеніту, як параметр експрес-методу для визначення й прогнозування механічних властивостей аустенітних сталей .

Новий підхід у вирішенні контролю за властивостями зі сторони економічності має науково-практичне значення, завдяки удосконаленню ми отримали гарну економію в електроенергії та загальновиробничих витратах, яка становить 5%, якщо порівнювати зі старими технологіями(дослід), а економічний ефект від впровадження нової технології буде приносити в рік (сезон) приблизно 3087500 грн, це дуже гарний результат.

Отже, отримані результати дослід, можуть бути використані під час створення та удосконалення технології деформаційної обробки, та під час виробництва хромонікелевих аустенітних сталей.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лысак Л.И., Николин Б.И. Физические основы термической обработки стали, М.: Металлургия, 1975. 10-17с.
2. Лободюк В.И., Коваль Ю.Н., Пушин В.Г. Влияние алюминия на структуру. *ФММ 111*, 2011. 169 с.
3. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали, М.: Металлургия, 1985. 340 с.
4. Ольшанецкий В.Е., Снежной Г.В. Об определении деформации мартенситной точки при силовом воздействии на аустенит Fe-Mn и Fe-Cr-Ni сталей в изменяемом и постоянном магнитных полях. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. 2016. №1, 15 с.
5. Ольшанецкий В.Е., Снежной Г.В., Сажнев В.Н. Об одной модели зарождения, развития и исчезновения мартенсита при пластической деформации аустенитных сталей. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. 2012. №2, 8 с.
6. Снежной Г.В. О формировании двух типов мартенситных фаз при пластической деформации в аустенитной хромоникелевой стали. *Физика и техника высоких давлений*. 2011. 599 с.
7. Снежной Г.В. Превращение мартенсита в аустенитной Fe-Cr-Ni стали под действием температуры. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2011. 784 с.
8. Снежной Г.В., Мищенко В.Г., Снежной В.Л. О видах и границах состояний стабильного и нестабильного аустенита Fe-Cr-Ni сталей. *Литье и металлургия*. №3, 2009. 52 с.
9. Вишняков Я.Д., Файнштейн Г.С. Превращения в металлах с разной энергией дефектов упаковки, *Физика радиационных повреждений и явлений в твердых телах*. №1, 1981. 224 с.

10. Snizhnoi G.V., Rasshchupkyna M.S. Journal of Iron and Steel Research, International. *Физика и техника высоких давлений* №6, 2012. 23с.
11. Дехтяр И.Я., Лысак Л.И., Николин Б.И., Федченко Р.Г. Зарождение перших порцій мартенсита. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. №2, 1967. 79 с.
12. Нетесов В.М., Березняк П.А., Ожигов Л.С., Хандак В.В. Вопросы атомной науки и техники. *Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение*. №6, 2003. 24 с.
13. Vasylenko O.V., Snizhnoi G.V. PWM controllers models for investigation ACS in spice-family ECAD programs. *Електротехніка та електроенергетика*. 2018, №1, 36-40с.
14. Снежной Г.В., Ольшанецкий В.Е., Снежной В.Л. О видах и границах состояний стабильного и нестабильного аустенита Fe-Cr-Ni сталей. *Физика и техника высоких давлений*. 2015. №1, с. 7-13.
15. Ольшанецкий В.Е., Снежной Г.В., Сажнев В.Н. О структурной и магнитной стабильности аустенита в хромоникелевых и марганцевых сталях при холодной деформации. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2016. №6. 732 с.
16. Ольшанецкий В.Е., Снежной Г.В. О формировании двух типов мартенситных фаз при пластической деформации в аустенитной хромоникелевой стали. *Физика и техника высоких давлений*. 2013. т. 23. №2. 87 с.
17. Снежной Г.В., Мищенко В.Г., Снежной В.Л. Зарождение первых порцій порцій ϵ і α' мартенситов деформации в аустенитных хромонікелевих сталях. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2015. №80, 313 с.
18. Снежной Г.В. Магнитное состояние аустенита вблизи истинной деформационной мартенситной точки хромоникелевых сталей аустенитного класса. *Физика металлов и металловедение*. №6, 2011. т. 111. 604 с.

19. Снежной Г.В. О возможности контроля малых деформаций аустенитных хромоникелевых сталей магнитометричным методом. *Авиационно-космическая техника и технология*. №9, 2010. 135 с.

20. Снежной Г.В. Магнетна поведінка аустеніту на початку утворення мартенситу веформації в криці 10X18H9-У. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2011. т. 12. №12. №3. 752 с.

21. Химишин Ф.Ф. Нержавеющие стали. М.: Металлургия, 1967. 798с.

22. Hans – Jochen 5. Mechanische eigenschaften austenitischer, kohlenstoffarmer Cr-Ni Stahl. *Neue Hutte*. 1970. Vol. 19. no 6. p. 42-47.

23. Беліков С.Б., Нарівський О.Е. Кінетика корозійних процесів сталей ALSI 321 та 12X18H10T у нейтральних хлоридовмістних розчинах та швидкість їх корозії. *Нові матеріали і технології в металургії та машиннобудуванні*. 2011. №1, с. 36-43.

24. Сніжною Г.В. Вплив магнітного стану аустенітної матриці на механічні властивості сталі ALSI 321. *Авиационно-космическая техника и технологии*. 2014. №7, с. 114.

25. Olshanetsky V.E., Snezhnoi G.V., Sazhnev V.N. Structural and magnetic stability of austenite in chromium-nickel and manganese steel with cold deformation. *Metal science and heat treatment*. 2016. Vol. 58. No. 5-6. p. 311-317.

26. Правила безпечної експлуатації електроустановок НПАОП 40.1-1.21-98. [На зміну ДНАОП 0.00.1.21-84; чинний від 1998-01-09]. К.: Мінпраці України, 1998. 89 с.

27. Гігієна класифікації праці за показниками шкідливості та небезпечних факторів виробничого середовища, важкості та напруженості процесу.[На заміну ГН 3.3.5-8.6.6.1-2002; чинний від 2014-05-30]. К.: МОЗ України, 2014. 37с.

28. Нарівський О.Е Корозійно-електрохімічна поведінка конструкційних матеріалів для пластинчастих теплообмінників у модельних оборотних водах: дис. ... кандидата техн. наук: 05.17.14. Львів, 2009. 200 с.

29. Нарівський О.Е Закономірності і механізм локальної корозії корозійностійких сталей і сплаву аустенітного класу для ємнісної та теплообмінно апаратури: дис. ... кандидата техн. наук: 05.17.14. Львів, 2009. 361с.

30. Кокольцев В.М., Лимарев П. С. Влияние соотношения компонентов на структуру и свойства марганцовых сталей. *Ползуновский альманах*. М.: Металлургия. 2005. №2 (ч.2). с. 139-141.

31. Снежной В.Л. Определение низких содержаний альфа-фазы в аустенитных хромоникелевых сталях и влияние магнитного поля на превращение: дис. ... кандидата физ.-матем. наук: 046 / Днепр. Гос. Универ. Днепропетровск, 1968. 130 с.

32. Мирошниченко Ф. Д., Снежной В. Л. Магнитометрические весы с униполярно-астигматической системой и механико-магнитным зщеплением призмы. М.: Приборостроение. 1966. №2, с. 48-52.

33. Сніжний Г. В., Жавжаров Є. Л. Автоматизована установка для визначення температурної залежності магнетної сприйнятливості криць та стопів. *Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування*. 2012. № 49. с. 136-141.

34. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної магістерської дипломної роботи для студентів спеціальності 132 "Матеріалознавство" усіх форм навчання. Укл.: І.М. Лазечний, В.Я. Грабовський, Ю.І. Кононенко, О.В. Лисиця. Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. 38с.

35. СТП 15-96 Пояснювальні записки до курсових та дипломних проектів (робіт). Запоріжжя: ЗДТУ, 1996. 36 с.

ДОДАТОК А

Охорона праці і безпека у надзвичайних ситуаціях

В даному розділі надані основні заходи з охорони праці, при дослідженні структурно-магнітних змін в аустеніті при пластичній деформації хромонікелевих сталей.

А.1 Аналіз потенційних небезпек

а) Невиконання вимог ергономіки стосовно дослідника в приміщенні дослідницької лабораторії, тобто отримання механічних травм внаслідок нерационального розташування приладдя.

б) Можливість ураження електричним струмом внаслідок недотримання правил з електробезпеки, що може призвести до електричних травм, або до летального наслідку

в) Небезпеки які пов'язані з визначенням типу структури дослідницьких сталей методом спектрального аналізу.

г) Небезпеки, які пов'язані з підготовкою зразків дослідницьких сталей з використання абразивного інструменту, для подальшого дослідження структурно-магнітних перетворень

Небезпеки які пов'язані з:

- шліфуванням/поліруванням зразка (пил, електричний струм тощо)
- очищенням поверхні (шум, вібрація, ультразвук)
- нагріву зразка (підвищена температура матеріалу та повітря, електричний струм)

- досліджу мікроструктури (іонізуюче випромінювання, електричний струм, напруга тощо)

д) Небезпеки, які пов'язані з обробкою отриманих результатів з використанням комп'ютерної техніки .

е) Незадовільні параметри повітряного середовища в адміністративних приміщеннях внаслідок неефективної роботи системи опалювання та повітрообміну, що може призвести до захворювань загального характеру.

є) Незадовільне освітлення робочих зон в дослідницькій лабораторії, що виникає з причин: несправності освітлювальної техніки.

ж) Можливість загорянь в наслідок порушень правил з пожежної безпеки, що може призвести до пожеж.

з) Небезпеки, які пов'язані з умовами праці у надзвичайних ситуаціях, зокрема неправильна організація, заходів що до укриття населення у захисних спорудах цивільного захисту, що може привести до травм, або летального наслідку

A.2 Заходи по забезпеченню безпеки

а) Згідно вимог НПАОП 40.1-1.01-97 (Правила безпечної експлуатації електроустановок) передбачено в [28]:

На підприємстві повинні бути створенні для кожного працівника здорові і безпечні умови праці та наступні організаційні вимоги:

- призначити працівників, відповідальних за безпечне проведення робіт
- видати наряд або розпорядження;
- видати дозвіл на підготовку робочих місць і на допуск;
- підготувати робочі місця та забезпечити допуск до роботи;

- забезпечити нагляд при виконанні робіт;
- при необхідності, організувати переведення на інше робоче місце;
- забезпечити оформлення перерв у роботі та порядок її закінчення

б) До основних заходів захисту людини від ураження електричним струмом, відносять:

- забезпечення неможливості випадкового дотику до струмоведучих частин, що перебувають під напругою;
- електричний розподіл мережі;
- усунення небезпеки ураження з появою напруги на корпусах, кожухах та інших частинах електроустаткування, що досягається захисним заземленням, зануленням і захисним відключенням;
- використання малих напруг;
- захист від випадкового дотику до струмоведучих частин кожухами, огороженням або подвійною ізоляцією;
- захист від небезпек можливих при переході напруги з вищої сторони на нижчу;
- контроль і профілактика пошкоджень ізоляції; - компенсація ємнісної складової струму замикання на землю;
- застосування спеціальних електрозахисних засобів, блокувань, сигналізації та запобіжних пристроїв; - організація безпечної експлуатації електроустановок.

Використання захисного заземлення:

- Робоче заземлення – це заземлення струмоведучих частин електроустановки, яке виконане для забезпечення роботи електроустановки (не з метою електробезпечності), наприклад, робоче заземлення нейтралі трансформатора;

- Заземлення блискавкозахисту – це заземлення блискавкоприймача, з метою захисту об'єкта від прямого удару блискавки;

- Захисне заземлення – це заземлення, яке виконане з метою електробезпечності, тобто з'єднання відкритих провідних частин (ВПЧ) із заземлювачем для захисту від непрямого дотику та від наведеного напруги.

На практиці, у більшості випадків, це той же самий заземлювач до якого приєднують і ВПЧ, і нейтралі трансформаторів, і блискавкоприймачи.

Заземлення використовують також для захисту від статичної електрики, що накопичується при терті діелектриків для захисту від електромагнітних випромінювань, підключаючи екрани до заземлювача і т.п. Захисне заземлення може бути ефективним тільки в тому випадку, якщо струм замикання на землю не збільшується зі зменшенням опору заземлення.

Відповідно до «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів» ПТБЕЭС 2012 і ПТБ для персоналу [28], який обслуговує електроустановки, встановлено п'ять кваліфікаційних груп з електробезпеки:

I кваліфікаційна група присвоюється не електротехнічному персоналу, який використовує у своїй роботі електроінструмент (ПК, принтер, сканер, пиросос і т.п.). Спеціальне навчання – не потрібно. Групу присвоює співробітник, призначений на посаду відповідального за електрогосподарство підприємства.

II кваліфікаційна група присвоюється кваліфікаційною комісією електротехнічному персоналу, який обслуговує установки та обладнання з електроприводом. Наприклад, електрозварювачі (без права підключення), термісти установок СВЧ, машиністи вантажопідйомних машин, пересувні машини та механізми з електроприводом, що працюють із ручними електричними машинами та іншими переносними електроприймачами тощо.

III кваліфікаційна група присвоюється тільки електротехнічному персоналу. Ця група дає право одноособового обслуговування, огляду, підключення та відключення електроустановок від мережі напругою до 1000 В.

IV кваліфікаційна група присвоюється тільки особам електротехнічного персоналу. Особи із кваліфікаційною групою не нижче IV мають право на обслуговування електроустановок напругою вище 1000 В. 4-я група допуску з електробезпеки (до 1000 В) необхідна особам (ІТП) для призначення відповідальною особою за електрогосподарство в організації. Також присвоюється оперативному персоналу для навчання молоді на робочому місці.

V кваліфікаційна група присвоюється особам, відповідальним за електрогосподарство та іншому інженерно-технічному персоналу в установках напругою вище 1000 В. Кваліфікаційні групи з електробезпеки, для відповідальних за безпечне проведення робіт в електроустановках, визначають відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.01-97 «ПБЕЕ» [30], залежно від діючого значення напруги електроустановки (до або вище 1000 В)

в) Небезпеки, які пов'язані з визначенням типу структури дослідницьких сталей. Організація оптимальних умов праці працівників, при дослідженні структури магнітно-резонансним методом, має здійснюватися відповідно до санітарних норм і правил та правил по охороні праці в організаціях. Прилади підлягають обов'язковій сертифікації в системі УкрСЕРПО в Україні і повинні відповідати: ДСТУ 3798-98, ГОСТ 23450-79, ГОСТ 29156-91, ГОСТ 29191-91, ГОСТ 30324.5-95, ГОСТ 30376-95 .

Так відповідно до цих нормативних документів шкідливими виробничими факторами при роботі з магнітно-резонансним методом є: постійне магнітне поле; електромагнітні поля промислової частоти, створювані, ПЕОМ; електромагнітне поле радіочастотного діапазону, в залежності від частоти сканування; лазерне випромінювання від позиціонуючих пристроїв; шуми; інфразвук; вібрація загальна; аероіонізація повітряного середовища;

У зв'язку з цим для безпечної роботи дослідника магнітно-резонансним методом конструкція стін, стелі, підлоги, дверей, вікон приміщення повинна забезпечувати зниження рівнів магнітних і електромагнітних полів в прилеглих приміщеннях до допустимого значення. Звукоізоляція стін, стелі, підлоги, дверей, вікон, технічних приміщень повинна бути виконана у відповідності з розрахунками акустичного впливу і забезпечувати рівень шуму відповідно до санітарних норм і правил. Так, рівень шуму на робочих місцях не повинен перевищувати 50 дБА. Рівні вібрації, інфразвуку, лазерного випромінювання від позиціонуючих пристроїв на робочих місцях також повинні відповідати санітарним вимогам

Під час роботи дослідники зобов'язані користуватися засобом індивідуального захисту. Забороняється залишати місце роботи в робочий час без відома керівника.

Дослідники повинні знати з чого складається пристрій на якому вони працюють.

Для запобігання перегріву системи, виникненню похибок та збою в роботі, забороняється загороджувати вентиляційні отвори на корпусі системи.

Робота на несправному пристрою, забороняється.

У справному стані повинні знаходитися заземлення, вентиляція, вилки приладів, електророзетки, додаткові прилади та інструменти.

Заборонено працювати на апараті (магнітно-резонансним методом) в разі перевищення допустимих рівнів випромінювання на дослідницьких місцях.

Проведення вологого прибирання в кімнаті під час досліджень забороняється.

Дослідники повинні містити в порядку і чистоті приміщення і апаратуру, не допускати захаращення проходів, дотримуватися правил пожежної безпеки.

Про всі порушення в роботі системи, несправності засобів захисту і порушеннях пожежної безпеки працівник повинен негайно доповісти безпосередньому керівнику.

Вимоги з Охорони Праці під час аварійної ситуації:

- довести до відома особу, яка відповідальна за радіаційний контроль;
- діяти згідно з інструкцією

У разі виникнення аварійної або надзвичайної ситуації (поява запаху гару і диму, підвищений тепловиділення від устаткування, підвищений рівень шуму при дослідженні, несправність заземлення, загоряння матеріалів і устаткування, припинення подачі електроенергії, поява запаху газу і т.п.) слід негайно припинити роботу, вимкнути обладнання, що використовується від електромережі, про те, що трапилося повідомити керівника робіт.

У разі пошкодження радіаційного захисту апарата слід діяти відповідно до інструкції для персоналу при аварійній ситуації в дослідницькому приміщенні.

При аварії та нещасні випадки необхідно негайно довести до відома керівника, а також забезпечити до початку розслідування збереження обстановки, якщо це не становить небезпеки для життя і здоров'я людей.

г) Небезпеки, які пов'язані з підготовкою зразків дослідницьких сталей з використання абразивного інструменту, для подальшого дослідження структурно-магнітних перетворень.

- Уникнення механічних травм при виготовленні зразків. Необхідно працювати на справному станку, своєчасно проводити заміну деталей, термін експлуатації яких вже закінчився та використовувати захисні окуляри та рукавиці. Для виключення травмування органів зору передбачено застосування захисних окулярів, які служать для захисту очей від ушкоджень частками твердих тіл, що летять попереду, знизу і збоку. Ці окуляри оснащені фігурними боковинами, що відкидаються. Застосовувати прозорий екран для захисту очей робітника від поранень частками, що відлітають.

- Заходи безпеки при роботі на шліфувальних і заточувальних верстатах.

Установка абразивних кіл на верстатах повинна проводитися тільки спеціально проінструктованими наладчиками; використання абразивних кіл з дефектами заборонено; абразивні кола повинні мати штамп або наклейку про випробування – порядковий номер кола і підпис особи, відповідальної за випробування; біля кожного верстата необхідно вивісити табличку із зазначенням допустимої роботи колової швидкості використовуваних кіл і частоти обертання шпинделя верстата в хвилину; при обертанні абразивного кола, виступаючі кінці шпинделя і кріпильні деталі захистити захисними кожухами; підручники повинні мати достатній за величиною майданчик для стійкого положення оброблюваного виробу. Зазор між краєм підручника і робочою поверхнею шліфувального круга повинен бути не більше 3 мм; заборонено працювати без підручника, захисного екрана або окулярів, якщо верстат не заземлений і не обладнаний установкою для відсмоктування абразивного пилу. ГОСТ 12.3.028–82 «Процесс обработки абразивными и эльборовым инструментом».

- Заходи безпеки під час роботи на растровому електронному мікроскопі «РЕМ-1061»

Растровий електронний мікроскоп «РЕМ-1061», має потужне джерело іонізуючих випромінювань, що як наслідок негативно впливає на організм людини при зовнішньому опроміненні. Зовнішнє опромінення — це дія на організм іонізуючих випромінювань від зовнішніх відносно нього джерел випромінювання. Під дією іонізуючих випромінювань в організмі людини відбувається іонізація молекул і атомів тканини, порушується хімічна структура сполук, утворюються сполуки, не властиві живій клітині, що в свою чергу призводить до її відмирання. Зміни фізичних і біологічних процесів в організмі залежно від дози опромінювання.

Для попередження шкідливої дії іонізуючих випромінювань необхідно усувати всяку можливість опромінювання організму дозами, які перевищують гранично допустимі. Ступінь ураження радіоактивними речовинами організму людини залежить від ряду чинників: виду випромінювання (альфа-, бета-, гамма-промені і т. ін.); кількості ізотопу (активності); його властивостей (енергії частинок в період піврозпаду та ін.); шляхів попадання в організм людини та його індивідуальної чутливості. Для захисту від зовнішнього опромінювання, яке має місце при роботі із закритими джерелами випромінювання, основні зусилля необхідно направити на попередження переопромінення персоналу шляхом:

- збільшення відстані між джерелом випромінювання і людиною (захист відстанню);
- скорочення тривалості роботи в зоні випромінювання (захист часом);
- екранування джерела випромінювання (захист екранами).

Для растрового електронного мікроскопа «РЕМ-1061» можливі 3 варіанти аварійної ситуації:

- відключення електроживлення;
- відключення постачання охолоджувача;
- прорив повітря в вакуумну систему.

У таких ситуаціях першочерговим завданням вважається охолодження печі дифузійного насоса і, по можливості, збереження вакууму в системі. У всіх випадках слід спочатку відключити високу напругу, піч диф.насоса і вимкнути головний автомат на стінці. При відмові водопостачання постаратися обмотати мокрими ганчірками піч диф. насоса і включити вентилятор для обдування. Гарячі мокрі ганчірки слід міняти, поки вакуум в системі не почне падати. після охолодження приступити до усунення несправності. При прориві повітря в колону мікроскопа, як правило, спрацьовує автоматика, відсікаючи дифузійний насос від решти обсягу, і вимикається напруження катода і висока напруга.

Треба тільки простежити, щоб форвакуумний насос не працював «на повітря», а переключити його на закритий обсяг, наприклад на відкачку боксу з фотопластинками. В цьому випадку найнебезпечнішим для мікроскопа випадком може з'явитися тріщина в керамічному ізоляторі високовольтного введення. Тому найкраще буде якомога швидше усунути протікання.

д) Небезпеки, які пов'язані з обробкою отриманих результатів з використанням комп'ютерної техніки. Особливості умов праці при роботі з комп'ютерною технікою.

Інтенсивна робота з персональними комп'ютерами, обладнаними візуальними дисплейними терміналами є причиною виникнення багатьох захворювань. Стан здоров'я користувачів ПК за суб'єктивними (скарга) і об'єктивними показниками (функціональний стан організму) залежить від типу роботи і умов її виконання. Всіх користувачів ПК можна умовно розділити на:

- користувачів постійно працюючих з ПК відповідно до своїх професійних обов'язків;
- користувачів, що працюють періодично (наприклад, учні, студенти).

Робота користувача ПК виконується в одноманітній позі в умовах обмеження загальної м'язової активності при рухливості кистей рук, великому напруженні зорових функцій і нервово-емоційній напрузі під впливом наступних фізичних факторів: електростатичного поля; електромагнітних випромінювань у наднизькочастотному, низькочастотному та середньо частотному діапазонах (5 Гц – 400 кГц); рентгенівського, ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювань; випромінювань видимого діапазону; акустичного шуму; незадовільного рівня освітленості; незадовільних метеорологічних умов

А.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці визначаються відповідно до вимог Державних санітарних норм і правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», зареєстрованих МЮ України 06.05.2014 р. за № 472/25249 [29], з урахуванням виявлених, в процесі аналізу потенційних небезпек, небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

е) Незадовільні параметри повітряного середовища в адміністративних приміщеннях внаслідок неефективної роботи системи опалювання та повітрообміну, що може призвести до захворювань загального характеру.

Параметри мікроклімату і чистоти повітря визначають згідно вимог ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», в залежності від категорії фізичних робіт, для певних робочих місць (постійних і непостійних).

Параметри мікроклімату і чистоти повітря визначають згідно вимог ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», в залежності від категорії фізичних робіт, для певних робочих місць (постійних і непостійних).

Постійне робоче місце – це місце, на якому працюючий знаходиться понад 50% робочого часу або більше 2-х годин безперервно. Якщо при цьому робота здійснюється в різних пунктах робочої зони, то постійним робочим місцем вважається вся ця зона.

Непостійне робоче місце – це місце, на якому працюючий знаходиться менше 50% робочого часу або менше 2-х годин безперервно.

Для нормалізації параметрів повітряного середовища в проекті передбачено устрій технічних систем, які забезпечують параметри повітряного

середовища у відповідності до норм, що вказані в таблиці 4.1 згідно мікрокліматичних умов для адміністративних будинків, ГОСТ 30494- 96 «.Параметри мікроклімату в приміщеннях» .

Таблиця А.1 Оптимальні параметри повітряного середовища

Період року	Температура,С	Відносна вологість,%	Швидкість руху, м/с
Теплий	20-23	40-60	0.1-0.4
Холодний	18-22	40-60	0.1-0.4

Для нормалізації параметрів повітряного середовища використовуються кондиціонери. У холодний період року також використовують водяне, або парове опалення.

є) Незадовільне освітлення робочих зон в дослідницькій лабораторії, що виникає з причин: несправності освітлювальної техніки.

Для забезпечення нормальної роботи зору в дослідницькій лабораторії передбачене природне і штучне освітлення, враховуючи ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення».

Отже, з метою організації нормованого освітлення приміщення виконуємо розрахунок освітлення згідно розряду зорової роботи.

Обираємо комбіновану систему освітлення. У якості джерела штучного освітлення приймемо люмінесцентні лампи. Ці лампи в якості джерела світла у складі світильників рекомендовані в приміщеннях не вище 6 м, отже вони нам підходять бо висота нашого приміщення приблизно 4м. Розряд зорової роботи приймемо 3. Згідно таких умов доцільно обрати лампи ЛД, які мають наступні переваги: високу світловіддачу (до 75лм/Вт), термін експлуатації до 10000 годин, високу стабільність світлового потоку. Але вони мають і недоліки: високу вартість та складна пускова апаратура.

Вибираємо світильник типу ЛПП.

Коефіцієнт запасу k_3 приймемо для нашої лабораторії $k_3 = 1.4$.

Коефіцієнт нерівномірності освітлення z . Для люмінесцентних ламп $z = 1.1$.

Вибираємо значення коефіцієнту використання світлового потоку η вибирається в залежності від типу обраного світильника, індексу приміщення та виду джерела світла з відповідної таблиці. Люмінесцентні лампи індекс приміщення $\eta = 60\%$

Згідно формули 5.1, визначаємо сумарний світловий потік освітлювальної установи в нашому приміщенні

$$F_{\Sigma} = 616 \text{ (лм)},$$

Визначаємо максимальну відстань між рядами та сусідніми світильниками у ряду L_{\max} .

$$L_{\max} = (L/h) \cdot h, L_{\max} = 1.4 \cdot 2.14 = 3 \text{ (м)}$$

Далі визначимо кількість рядів світильників у приміщенні:

$$N_p = B / L_{\max}, N_p = 6 / 3 = 2$$

Умовна загальна кількість світильників, розташованих у вершинах квадрата:

$$N = A \cdot B / L_{\max}, N = 5.3 \text{ (округлимо до 6-ти)}$$

Отже, приймаємо те, що в нашому робочому приміщенні буде $N = 6$ світильників ЛПП по дві лампи у кожному моделі ЛД75.

А.4 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

з) Заходи з пожежної безпеки в умовах надзвичайної ситуації та забезпечення безпеки в разі виникнення надзвичайних ситуацій

Розробку заходів з пожежної безпеки починають з аналізу речовин і матеріалів, що використовуються при роботі на об'єкті, з метою визначення класу можливої пожежі (А, В, С, D, F, E), відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» та СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания».

Шляхи евакуації працівників на випадок пожежі (переходи, евакуаційні виходи) передбачають згідно вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги».

Показати наявність засобів виявлення загорянь і пожеж згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту»:

- автоматичних сигналізаторів про пожежу;
- системи пожежної сигналізації;

З огляду на пожежну небезпеку, передбачити первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники різних видів), відповідно до вимог «Правил 58 експлуатації та типових норм належності вогнегасників», зареєстрованих в МЮ України 23.02.2018 р. за № 225/31677.

Виробничі приміщення можуть бути обладнані стаціонарними установками автоматичного пожежогасіння.

Комплекс протипожежних заходів для приміщення (лабораторії, офісу, тощо) обладнаного ПК з ВДТ розроблений згідно вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Оскільки приміщення лабораторії обладнане ПК з ВДТ належить до виробництв категорії «Д» з пожежної небезпеки, тому згідно вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» воно має II ступінь вогнестійкості.

Згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту», в приміщенні лабораторії, обладнаному ПК з ВДТ встановлена система пожежної й охоронної сигналізації «Сигнал-ВК6». Яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика.

Оскільки приміщення лабораторії, що обладнане ПК з ВДТ має площу 39 м², тому відповідно до вимог п. 5 розділу VI «Вибір типу та необхідної кількості вогнегасників», «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», зареєстрованих в МЮ України 23.02.2018 р. за № 225/31677 для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, передбачені вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-3,5 у кількості 2 штук (з розрахунку один вогнегасник с величиною заряду вогнегасної речовини 3 кг. і більше, на 20 м² площі приміщення). Додатково, на кожному поверсі будівлі, в якій розміщене приміщення обладнане ПК з ВДТ, передбачене два переносних порошкових вогнегасника – ВП-5. Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 10 м.

Режими функціонування системи цивільного захисту

Питання укриття населення у захисних спорудах цивільного захисту регламентується рядом нормативно-правових актів та нормативних документів основними з яких є:

- кодекс цивільного захисту України;

- постанова Кабінету Міністрів України від 25 березня 2009 р. № 253 «Про затвердження Порядку використання захисних споруд цивільного захисту (цивільної оборони) для господарських, культурних та побутових потреб»;

- постанова Кабінету Міністрів України від 9 січня 2014 р. №11 «Про затвердження « Положення про єдину державну систему цивільного захисту»;

- наказ МНС від 09.10.2006 № 653 «Про затвердження Інструкції що до утримання захисних споруд цивільної оборони у мирний час;

- ДБНВ. 1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва»;

- ДБН В. 1.2-4-2006 «Інженерно-технічні заходи цивільного захисту (цивільної оборони)».

Основним способом захисту населення від засобів масового ураження у воєнний час та при надзвичайних ситуаціях у мирний час є укриття його у захисних спорудах цивільного захисту.

Оцінка інженерного захисту робітників об'єкту проходить за такою послідовністю:

- Оцінка захисних споруд за місткістю,
- Оцінка захисних споруд за захисними властивостями,
- Оцінка систем життєзабезпечення захисних споруд,
- Оцінка захисних споруд за своєчасним укриттям людей,
- Висновки та пропозиції.

Захисні споруди - інженерні споруди, призначені для укриття і тимчасового захисту людей, техніки та майна від небезпеки, що може виникнути або виникла внаслідок надзвичайних ситуацій у мирний час, а також від дії засобів ураження в особливий період.

До найпростіших укриттів відносяться: інженерні споруди (щілини, бліндажі, притулки тощо), цокольні або підвальні приміщення будинків промислового, житлового та нежитлового, населених пунктів у сільській місцевості, тощо.

Сили цивільного захисту:

- Оперативно-рятувальна служба – складається з органів управління центрального підпорядкування, аварійно-рятувальних формувань спецпризначення.