

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет

(повне найменування факультету)

Фізичне матеріалознавство

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Дослідження впливу хімічного складу на експлуатаційні показники
магнітом`яких матеріалів для виготовлення електричних машин

(назва теми)

Виконав(ла): студент(ка) 2 курсу, групи ІФ232м

Спеціальності 132 Матеріалознавство

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

МАСЛОВА О.А

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник КЛИМОВ О.В

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Інженерно-фізичний факультет

Кафедра Фізичне матеріалознавство

Ступінь вищої освіти магістр

Спеціальність 132 Матеріалознавство
(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Прикладне матеріалознавство
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 20 ____ року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

МАСЛОВА Ольга Анатоліївна

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Дослідження впливу хімічного складу на експлуатаційні показники магнітом'яких матеріалів для виготовлення електричних машин
керівник проєкту (роботи) доцент, к.т.н Климів Олександр Володимирович

(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « _____ » _____ 20 ____ року № _____

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 18.12.2023

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) сталь електротехнічна анізотропна із відомим складом

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Аналіз досліджень магнітом'яких матеріалів для деталей електричних машин, матеріали та методика, вплив легування на властивості електротехнічних сталей, розрахунок економічної ефективності, охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів)

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	КЛИМОВ О.В доцент, к.т.н		
2	КЛИМОВ О.В доцент, к.т.н		
3	КЛИМОВ О.В доцент, к.т.н		
4	КРУГЛІКОВА В.О, доцент, к.т.н		
5	НЕСТЕРОВ О.В., доцент, к.т.н		
НК			

7. Дата видачі завдання «_____» _____ 20__ року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Аналіз досліджень магнітом'яких матеріалів для деталей електричних машин		
2	Матеріали та методика досліджень		
3	Вплив легування на властивості електротехнічних сталей		
4	Економіко-організаційна частина		
5	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях		

Студент(ка)

_____ Ольга МАСЛОВА
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

_____ Олександр КЛИМОВ
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 82 с., 19 табл., 11 рис., 6 додатків, 29 джерел.

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ СТАЛІ, МАГНІТНА ІНДУКЦІЯ, МАГНІТНА ПРОНИКНІСТЬ, ТВЕРДІСТЬ, КРЕМНІЙ, МЕХАНІЧНА МІЦНІСТЬ, МІКРОСТРУКТУРА, ДОМЕНИ, КРИВА НАМАГНІЧУВАННЯ

Об'єкт дослідження – магнітом `які сталі із анізотропною структурою леговані кремнієм, які піддаються термічній обробці обробці з метою вивчення впливу процесу на їх властивості

Мета роботи - дослідити вплив кремнію на магнітні властивості сталі та вплив термічної обробки на властивості анізотропних сталей.

Методи дослідження, які використовуються в даній роботі, охоплюють аналіз магнітних властивостей через вимірювання магнітної індукції та магнітної проникності, а також випробування механічних характеристик матеріалів. Дослідження також враховує структурний аналіз мікроструктури матеріалів. Особливу увагу приділяється аналізу магнітних кривих, що дозволяють відображати зміни магнітних параметрів в залежності від температурних впливів під час нагрівання та відпускання.

Крім того, у звіті надається оглядова інформація про магнітом`які матеріали, що включає їх основні характеристики та властивості. Детально описано технологію обробки магнітних матеріалів і вплив цього процесу на їхню мікроструктуру та властивості.

ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	7
1 Аналіз досліджень магнітом`яких матеріалів для деталей електричних машин	8
1.1 Основні властивості магнітних матеріалів. Діамагнетики, парамагнетики, феромагнетики.....	8
1.2 Структура і властивості феромагнетиків.....	14
1.3 Основні характеристики магнітом `яких матеріалів	20
2 Матеріали та методика досліджень	31
2.1 Дослідження фазовий і структурних перетворень	31
2.2 Дослідження мікроструктури	32
2.3 Вимірювання твердості матеріалу	33
3 Вплив легування на властивості електротехнічних сталей	35
3.1 Аналіз діаграми стану залізо – кремній.....	35
3.2 Вплив легувальних елементів на магнітні властивості електротехнічних сталей.....	36
3.3 Термічна обробка магнітом`яких сталей для електричних машин	42
4 Економіко-організаційна частина.....	48
4.1 Актуальність теми з позиції маркетингу	48
4.2 Послідовний аналіз	49
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	58
5.1 Аналіз потенційних небезпек	58
5.2 Заходи по забезпеченню безпеки	59
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	64
5.4 Заходи безпеки надзвичайних ситуацій.....	67
Висновки	72
Перелік джерел посилань	73

Додаток А.....

Додаток Б

ВСТУП

Вплив хімічного складу на властивості матеріалів має вирішальне значення у багатьох промислових галузях, зокрема у виробництві електричних машин. У сучасному світі високоефективні та надійні електромеханічні системи потребують матеріалів з оптимальними експлуатаційними показниками. Дослідження та аналіз впливу хімічного складу на властивості магнітом'яких матеріалів, що використовуються у виробництві електричних машин, виявляється ключовим аспектом для досягнення високої ефективності та надійності таких систем.

Дослідження властивості матеріалів, які визначають їх придатність для застосування у виробництві електричних машин, зокрема їх магнітну проникність, коерцитивну силу, максимальну енергію та інші параметри.

В рамках даного дослідження буде проведений аналіз різноманітних хімічних компонентів зокрема кремнію у складі магнітом'яких матеріалів. Цей аналіз дозволить виявити оптимальні комбінації складових для отримання матеріалів з найкращими характеристиками, що впливають на їхню ефективність у різних умовах експлуатації.

На основі отриманих результатів цього дослідження можна буде розробити рекомендації для оптимізації хімічного складу та термічної обробки магнітом'яких матеріалів, що буде вкрай корисним для інженерів та виробників електричних машин. Такий підхід сприятиме покращенню продуктивності електромеханічних систем, зниженню витрат та підвищенню їх довговічності.

1 АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ МАГНІТОМ'ЯКИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

1.1 Основні властивості магнітних матеріалів. Діамагнетики, парамагнетики, феромагнетики

Магнітне поле - силове поле, що діє на рухомі електричні заряди і на конденсовані тіла, що володіють магнітним моментом. Термін «магнітне поле» введений у 1845 р. М. Фарадеєм.

Магнітне поле в речовині характеризується двома векторними величинами: магнітною індукцією та напруженістю магнітного поля. Магнітна індукція B - середнє результуюче магнітне поле в речовині (одиниця виміру - тесла, Тл). Напруженість магнітного поля H - силова характеристика магнітного поля, визначає внесок зовнішніх джерел поля в магнітну індукцію зразка [А/м]. Вектор $H(r, t)$ є функцією радіус-вектора r точки спостереження і часу t . У вакуумі $B = \mu_0 H$, где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Г/м [1].

Джерелами магнітних полів є електричні струми, змінні електричні поля та магнітні моменти. Магнітний момент - векторна величина, що характеризує речовину як джерело магнітного поля. Магнітний момент створюють замкнуті електричні струми, що протікають у структурі речовини, і впорядковано орієнтовані магнітні моменти її атомних частинок. В останніх розрізняють

орбітальні магнітні моменти (наприклад, в електронів в атомах) і спінові, пов'язані зі спіном частинки. Магнітний момент конденсованого тіла визначається векторною сумою магнітних моментів частинок, з яких воно складається. Одиниця магнітного моменту - магнетон. Квант магнітного моменту дорівнює магнетону Бора $\mu_B = 9,27 \cdot 10^{-24}$ Дж/Тл [1, 2].

Магнітний потік - потік вектора магнітної індукції, що проходить через поверхню. Намагніченість - характеристика магнітного стану речовини [А/м], середня густина її магнітного моменту або магнітний момент одиниці об'єму зразка. Магніторухійна сила (намагнічувальна сила) - характеристика

здатності джерел магнітного поля створювати магнітні потоки. Намагнічування – процеси встановлення намагніченості, що протікають у речовині під час дії на неї зовнішнього магнітного поля. Магнітне насичення (намагніченість насичення) - досягнення максимального можливого для даної речовини значення намагніченості J , що не змінюється при подальшому зростанні намагнічувального поля [3]. У стані насичення всі наявні в речовині елементарні магнітні моменти орієнтовані вздовж H . Магнітна сприйнятливість - безрозмірна величина, що характеризує зв'язок між намагніченістю (магнітним моментом) речовини і напруженістю магнітного поля у ній. У магнітостатичних полях, напруженість яких із часом не змінюється за величиною і напрямком, сприйнятливість $\chi = J/H$, безрозмірна величина. Магнітна проникність характеризує реакцію речовини на вплив зовнішнього магнітного поля і пов'язана з магнітною сприйнятливістю: $\mu = 1 + \chi$. Для однорідного ізотропного середовища магнітна проникність пов'язує вектори магнітної індукції та напруженості магнітного поля [4].

Величезна кількість атомів, з яких побудована структура речовини, зумовлює практично невичерпну різноманітність магнітних властивостей конденсованих тіл. Для позначення таких тіл вживають загальний термін «магнетики». Магнетик - речовина, у якої виявлено будь-які магнітні властивості. Безліч типів магнетиків – це наслідок різноманітності магнітних властивостей мікрочастинок, що утворюють магнетик, взаємодій частинок, наявності фаз у складі магнетика тощо. Магнетики класифікують, насамперед, за ознакою магнітної сприйнятливості χ : речовини з $\chi < 0$ називають діамагнетиками, з $\chi > 0$ - парамагнетиками, а з $\chi \gg 0$ - феромагнетиками.

Глибша фізична класифікація магнетиків ґрунтується на ознаках магнітної атомної структури кристала. Магнітна атомна структура - упорядковане просторове розташування магнітних атомів кристала, що мають власні магнітні моменти. Елементом структури магнітовпорядкованого кристала є магнітна комірка, паралельними перенесеннями якої в трьох

вимірах (трансляціями) можна повністю відтворити магнітну атомну ґратку кристала. ґратку кристала. За цим критерієм розрізняють тверді тіла:

- з феромагнітною атомною структурою, що мають ненульовий сумарний магнітний момент атомів $\mu_J \neq 0$, вектори магнітних моментів яких паралельні й однаково орієнтовані;
- з антиферомагнітною структурою, $\mu_J = 0$;
- з феримагнітною структурою $\mu_J \neq 0$), в якій вектори магнітних моментів атомів утворюють кілька магнітних підґраток з некомпенсованими магнітними моментами.

Поява магнетизму в речовині зумовлена процесами руху електронів, які утворюють кругові струми, що мають магнітні моменти електронів, які утворюють кругові струми, що мають магнітні моменти. Магнітний момент електрона складається з орбітального магнітного моменту (внаслідок руху електрона навколо ядра) і спінового моменту (внаслідок обертання електрона навколо власної осі). За поведінкою в магнітному полі всі матеріали поділяються на діамагнетики і парамагнетики, феромагнетики, антиферомагнетики та феримагнетики.

Діамагнетизм (грец. приставка *dia* означає тут розбіжність силових ліній) - властивість речовини намагнічуватися назустріч напрямку зовнішнього магнітного поля, що діє на неї зовнішнього магнітного поля, що діє на неї. Дія магнітного поля на електронну оболонку атома зумовлює додатковий круговий рух електронів, що виникає в силу закону електромагнітної індукції [3, 4]. Індуковані кругові струми створюють у кожному атомі індукований магнітний момент. Згідно з правилом Ленца, він спрямований протилежно до зовнішнього магнітного поля, незалежно від того, був у атома власний магнітний момент чи ні. Тому діамагнетизм властивий всім речовинам. Діамагнетик - речовина, що намагнічується в зовнішньому магнітному полі напруженістю H у напрямку, протилежному H . Намагніченість, пов'язана з діамагнетизмом, зазвичай невелика. За відсутності зовнішнього магнітного поля діамагнетик немагнітний. Магнітна

сприйнятливість діамагнетиків завжди негативна ($\chi < 0$), мала за абсолютною величиною, слабо залежить від напруженості поля і від температури.

Типовими діамагнетиками є інертні гази, N_2 , H_2 , Si, P, Bi, Zn, Cu, Au, Ag, багато органічних і неорганічних сполук. У цих речовин електронні оболонки атомів або молекул цілком заповнені і не володіють постійним магнітним моментом, оскільки за відсутності зовнішнього магнітного поля магнітні моменти електронів взаємно скомпенсовані. Надпровідники мають найбільше за абсолютною величиною значення магнітної сприйнятливості ($\chi = -1/4\pi$) і магнітну індукцію, що дорівнює нулю. Це означає, що магнітне поле не проникає в надпровідник.

Парамагнетизм (від грец. para - біля, поруч) - властивість речовини намагнічуватися в зовнішньому магнітному полі в напрямку поля. Це означає, що всередині парамагнетика - речовини з позитивною магнітною сприйнятливістю ($\chi > 0$) - до дії зовнішнього поля додається дія намагніченості. За відсутності зовнішнього поля намагніченість парамагнетиків дорівнює нулю, отже, вони не мають впорядкованого розташування й орієнтації атомних магнітних моментів, тобто не мають магнітну атомну структуру. У зовнішньому полі магнітні моменти атомів у парамагнетиках орієнтуються по полю. З його зростанням намагніченість (магнітний момент) парамагнетиків зростає за законом $\mu_j = \chi H$, і в сильному полі настає магнітне насичення [4, 5].

Магнітна сприйнятливість парамагнетиків позитивна, у слабких полях практично не залежить від H , але дуже сильно залежить від температури. Її абсолютне значення невелике.

Феромагнетизм - магнітовпорядкований стан речовини, у якому більшість атомних магнітних моментів паралельні. атомних магнітних моментів паралельні й однаково спрямовані, так що речовина має мимовільну (спонтанну) намагніченість. Феромагнетизм встановлюється за відсутності зовнішнього магнітного поля за температури нижче точки Кюрі, вище якої спонтанна намагніченість зникає і феромагнетик переходить у парамагнітний

стан. Феромагнетики - речовини, в яких має місце феромагнітне впорядкування магнітних моментів атомів або магнітних моментів колективізованих електронів (рисунок 1.1). Вектори атомних магнітних моментів колінеарні, тобто лежать на одній або на паралельних прямих.

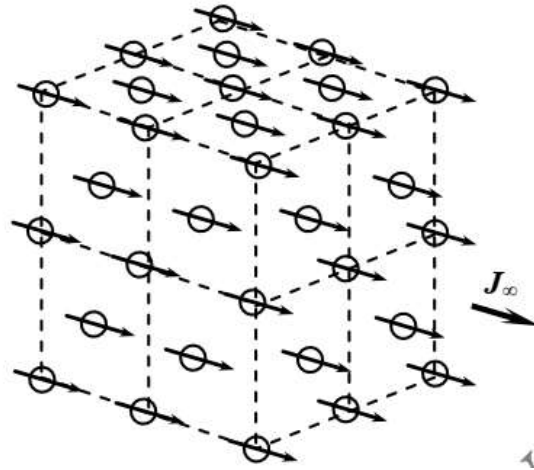


Рисунок 1.1 - Феромагнітна колінеарна атомна структура ГЦК гратці [5]

Антиферомагнетиками називають речовини, в яких сусідні атомні моменти розташовані антипаралельно. Антиферомагнетизм має місце в кристалах Cr і Mn, низці рідкоземельних металів (Ce, Pr, Nd, Sm, Eu), а також у численних сполуках і сплавах за участю елементів перехідних груп. У магнітному відношенні кристалічна гратка цих речовин розбивається на так звані магнітні підрешітки, вектори саморешітки підрешітки, вектори мимовільної намагніченості J_i яких або антипаралельні (колінеарний антиферомагнітний зв'язок), або спрямовані один до один до одного під кутами, відмінними від 0° і 180° .

Якщо сумарний момент усіх магнітних підрешіток в антиферомагнетику дорівнює нулю, то має місце скомпенсований антиферомагнетизм. Якщо ж є відмінна від нуля різницева мимовільна намагніченість, то спостерігається некомпенсований антиферомагнетизм, або феримагнетизм, який реалізується головним чином у кристалах оксидів металів із кристалічною граткою типу

шпінелі, граната, перовскіта та інших мінералів (їх називають феритами). Ці тіла (зазвичай напівпровідники та ізолятори) за магнітними властивостями схожі на звичайні феромагнетики. Вісь легкого намагнічування (ВЛН) - напрямок у феро- або феримагнітному зразку, уздовж якого робота намагнічування зразка до насичення, вироблена зовнішнім магнітним полем, мінімальна. Якщо зовнішнє поле на зразок не діє, то намагніченість у кожному домені зразка спрямована вздовж ВЛН. У феромагнітних монокристалах ВЛН збігаються з головними кристалографічними осями (наприклад, у залізі - з тетрагональними типу [100], у нікелі - з тригональними [111], у кобальті - з гексагональною [0001]). Під час накладення на феромагнітний монокристал зовнішніх напружень (стиснення, розтягнення) напрямки ВЛН можуть змінитися, а в полікристалічному зразку навіть утворитися знову. Наявність ВЛН є прямим наслідком магнітної анізотропії феромагнітних речовин [6].

Точка Кюрі, або температура Кюрі T_C – температура фазового переходу II роду, пов'язаного зі стрибкоподібною зміною властивостей симетрії речовини (наприклад, магнітної – у феромагнетиках, електричної – у сегнетоелектриках, кристалохімічної – у впорядкованих сплавах). При температурі нижче точки Кюрі феромагнетики мають мимовільну (спонтанну) намагніченість і певною магнітно-кристалічною симетрією. У точці Кюрі ($T = T_C$) інтенсивність теплового руху атомів феромагнетика виявляється достатньою для руйнування його мимовільної намагніченості («магнітного порядку») та зміни симетрії, в результаті феромагнетик стає парамагнетиком. Аналогічно у антиферомагнетиків при $T = T_C$ (у так званій антиферомагнітній точці Кюрі або точці Нееля) відбувається руйнування характерної для них магнітної структури (магнітних ґрат), і антиферомагнетики стають парамагнетиками. У сегнетоелектриках при $T = T_C$ тепловий рух атомів зводить до нуля мимовільну впорядковану орієнтацію електричних диполів елементарних осередків кристалічних ґраток. У упорядкованих сплавах у точці Кюрі (її називають у випадку сплавів також точкою Курнакова) ступінь

далекого порядку в розташуванні атомів (іонів) компонентів сплаву стає рівним нулю [7].

Таким чином, у всіх випадках фазових переходів II роду (типу точки Кюрі) при $T = T_C$ у речовині відбувається зникнення того чи іншого виду атомного «порядку» (упорядкованої орієнтації магнітних або електричних моментів, далекого порядку в розподіл атомів по вузлах кристалічних ґрат у сплавах тощо). Поблизу точки Кюрі в речовині відбуваються специфічні зміни багатьох фізичних властивостей (наприклад, теплоємності, магнітної сприйнятливості та тощо), що досягають максимуму при $T = T_C$, що зазвичай і використовується для точного визначення фазової температури переходу.

Вище T_C феромагнетик переходить у парамагнітний стан, а в деяких випадках (рідкоземельні метали) – в антиферомагнітний. Температурний хід магнітної проникності μ (або сприйнятливості χ) феромагнетиків має явно виражений максимум поблизу T_C . При $T > T_C$ сприйнятливість зазвичай дотримується закону Кюрі-Вейса. При намагнічуванні феромагнетиків змінюються їх розміри та форма (магнітострікція). Тому криві намагнічування та петлі гістерезису залежать від зовнішніх напруг. Спостерігаються також аномалії у величині та температурній залежності пружних постійних, коефіцієнтів лінійного та об'ємного розширення.

При адіабатичному намагнічуванні та розмагнічуванні феромагнетики змінюють свою температуру (магнітне охолодження) [8].

1.2 Структура і властивості феромагнетиків

Відомо, що залізо технічної чистоти не є магнітним навіть при $T < T_S$ (Кюрі). Це пояснюється тим, що паралельне встановлення спинів електронів d оболонки реалізується лише в локальних об'ємах феромагнетика, які є

областями спонтанної намагніченості і називаються доменами. Кожен домен є намагніченим до насичення. Проте орієнтація окремих доменів може бути різною внаслідок чого намагніченість поля в цілому відповідає векторній сумі намагніченостей окремих доменів, внесок кожного пропорційний їх об'єму. Отже, намагніченість від 0 значення до певного максимального значення.

Утворення доменної структури пов'язують з наявністю 3х видів взаємодій енергії:

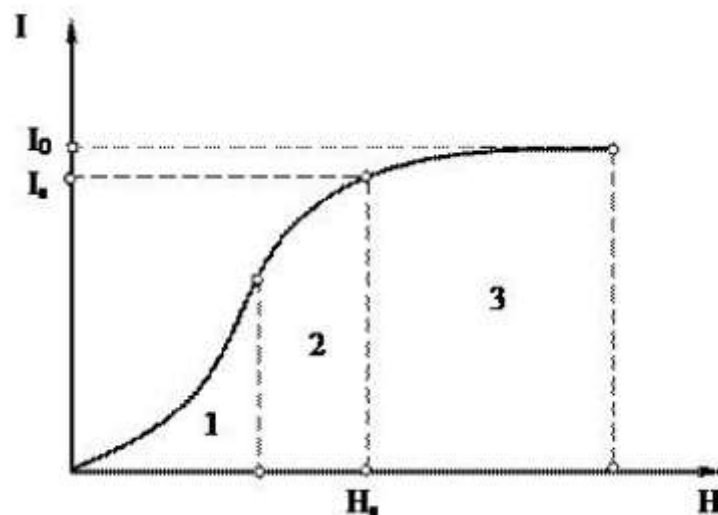
- енергія обмінної взаємодії;
- магнітна енергія;
- енергія анізотропії.

Під дією обмінної енергії магнітні моменти атомів прагнуть до паралельної орієнтації у всьому об'ємі кристалу і утворення єдиного домену. Проте формування такого стану пов'язано з утворенням зовнішніх полюсів і магнітного поля навколо кристалу, що призводить до підвищення вільної енергії феромагнетика. В свою чергу прагнення системи до мінімальної вільної енергії обумовлює формування більше енергетичного вихідного стану феромагнетика, а саме утворення подрібненої доменної конфігурації із меншою вільною енергією. Подрібнення феромагнетика пов'язано із спільною дією близькодійної обмінної та дальнодійної магнітної енергій. При цьому термодинамічно вигідним є подрібнення на області з антипаралельною орієнтацією моментів.

Дія третьої магнітної складової – енергії анізотропії полягає у тому, що вектори намагніченості третього домена встановлюються відповідно напрямку вісі легкого намагнічування. Подрібнення доменів продовжується до того моменту коли витрати магнітної енергії необхідної для утворення нових граничних шарів не перевершать зменшення енергії магнітного поля, що відповідає подальшому подрібненню. Кількість доменів, їх форма та характер взаємодії визначаються напрямками анізотропії в кристалі вздовж яких можуть орієнтуватись спіни, а також енергією границь доменів. Стінки Блоха уявляють собою перехідний шар із шириною в декілька

міжатомних відстаней, що відокремлюють сусідні домени із різною направленістю. Безпосередньо в самій границі відбувається поступова зміна напрямків атомних магнітних моментів. Цей плавний перехід сприяє зниженню необхідної обмінної енергії. Зміна доменної структури відбувається під дією механічних напружень та при термічній активації.

При намагнічуванні енергія протилежно орієнтованих доменів збільшується, а енергія доменів орієнтованих в напрямку вектора зовнішнього поля зменшується, що призводить до перерозподілу моментів доменів і перемагнічування тіла. Процес намагнічування феромагнетика складається з трьох етапів (рисунок 1.2)



1 - процес зміщення границь; 2 - процес обертання; 3 - пара процес;

Рисунок 1.2 - Вплив напруженості зовнішнього магнітного поля на індукцію феромагнетика [7]

В слабких магнітних полях домени з орієнтацією відповідно до вектора зовнішнього поля починають збільшуватись у своїх розмірах за рахунок поглинання сусідніх доменів, що знаходяться в енергетично невигідному стані оскільки орієнтовані до напрямку зовнішнього поля під тупим кутом. Ріст доменів відбувається шляхом зміщення границь поки невигідно орієнтовані

домени не будуть повністю поглинутими. Процес намагнічування на 1 етапі є обратимим, тобто при збільшенні напруженості поля границі доменів переміщуються в одному напрямку, то при зменшенні H вони переміщуються в зворотному напрямку. Перший етап на кривій намагнічування називають ділянкою Релея.

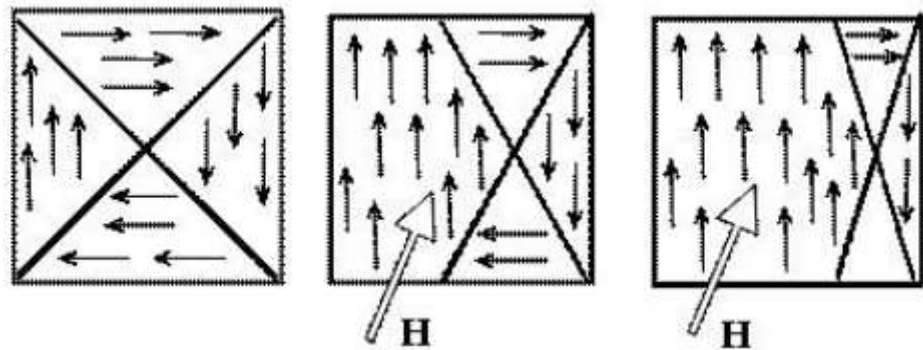


Рисунок 1.3 - Схема процесу намагнічування

Переміщення границь на ділянці Релея відбувається повільними темпами (рис 1.3). Магнітна проникність тіла визначається залежністю

$$\mu = \mu_0 + \frac{1}{2} \alpha H \quad (1.1)$$

де μ_0 – початкова проникність = $1,257 \cdot 10^{-6}$ Гн/м ($B = \mu \cdot H$; $\mu = 4\pi\chi + 1$;
 $B = 4\pi I + H$; $I = \chi H$)

По мірі підвищення напруженості зовнішнього поля відбувається скачко подібне обертання доменів відповідно напрямку вектора напруженості цього поля (ефект Баркгаузена) [8]. Процес обертання спочатку прискорюється потім уповільнюється внаслідок різкого підвищення опору поворотів доменів. В результаті формування опору із повним півпаданням векторів магнітних моментів із вектором тіло уявляє собою один загальний домен. Момент такого перетворення тіла називають технічним насиченням (I_s).

Поле H_s при якому досягається технічне насичення називають полем насичення.

В свою чергу в загальному об'ємі спонтанної намагніченості у зв'язку із дезорієтуючою дією теплового поля окремі магнітні моменти мають антипаралельну орієнтацію відносно вектора зовнішнього поля. Загальна намагніченість тіла при технічному насиченні буде визначатись величиною різниці між паралельними і антипаралельними спіновими моментами. При цьому кількість антипаралельно орієнтованих спинів збільшується із підвищенням температури і наближенням її до температури Кюрі, при якій $M=0$. Подальше підвищення напруженості викликає появу істинного намагнічування. Такий стан тіла називають парапроцесом. Сутність парапроцесу полягає у збільшенні спонтанної намагніченості внаслідок повороту антипаралельних спинів відповідно напрямку вектора напруженості зовнішнього поля. (як при $T = 0$ К - парапроцес) [9].

Припустимо, що кільцевий магнітодрід з феромагнітного матеріалу не намагнічений і немає струму в витках котушки, тобто $B = 0$ і $H = 0$ (початок координат на рис. 1.4).

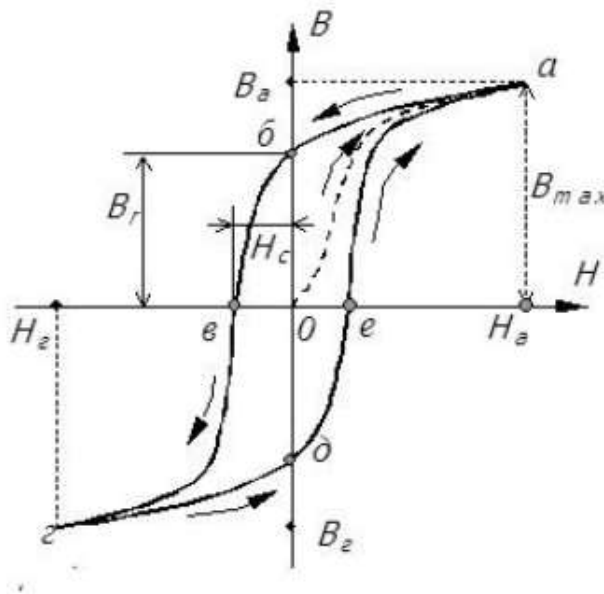


Рисунок 1.4 - Процес перемагнічування феромагнетика (петля гістерезису)

При поступовому збільшенні намагнічувального струму, тобто МДС (магніторушійної сила), а отже, і напруженості поля від нуля до деякого максимального значення. Якщо струм і напруженість поля зменшуються, то і магнітна індукція зменшується, при відповідних значеннях напруженості магнітна індукція трохи більше, ніж при збільшенні напруженості. Крива зміни магнітної індукції (ділянка *аб* на рис. 1.4) розташовується вище кривої початкового намагнічування. При нульових значеннях струму і напруженості поля магнітна індукція має деяке значення B_r , та а має назву залишкової індукції (відрізок *Об* на рис. 1.4).

Таким чином, магнітна індукція в ферромагнітному матеріалі залежить не тільки від напруженості поля, але і від попереднього стану ферромагнетика. Це явище називається гістерезисом. Воно зумовлено внутрішнім тертям, що виникає при зміні орієнтації магнітних моментів доменів. При зміні напрямку намагнічення струму, а, отже, і напрямку напруженості поля і поступовому збільшенні струму зворотного напрямку напруженість поля досягає значення H_c , що має назву коерцитивної сили (відрізок O_b), при якому магнітна індукція $B = 0$. При подальшому збільшенні струму і напруженості поля магнітодрід намагнічується в протилежному напрямку і при напруженості поля $H_r = -H_a$ магнітна індукція досягне значення $B_r = -B_a$. Потім при зменшенні струму і напруженості поля до нуля магнітна індукція B_d стає рівною $-B_b$. Нарешті, при наступній зміні напрямку струму і напруженості поля і збільшення її до колишнього значення H_a магнітна індукція збільшиться також до колишнього значення B_a . Розглянутий цикл перемагнічування ферромагнетика по кривій *абвгдеа* називається гістерезисних циклом (петлею гістерезиса) [10].

1.3 Основні характеристики магнітом'яких матеріалів

Форма та розмір петлі гістерезису характеризують магнітні властивості матеріалу. В залежності від параметрів петлі магнітні матеріали класифікують на магнітом'які та магнітотверді.

Магнітом'які матеріали мають великі значення початкової і максимальної магнітної проникності і малу коерцитивну силу (H_c 4000 А/м). Ці матеріали легко намагнічуються і розмагнічуються. Вони відрізняються малими втратами на гістерезис, тобто їм відповідає вузька петля гістерезису при високій магнітній індукції. Рівень магнітних характеристик магнітом'яких матеріалів залежить від їх хімічної чистоти і ступеня зміни їх кристалічної структури.

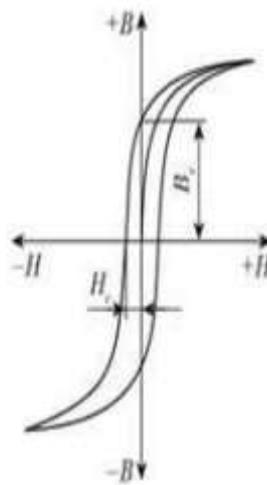


Рисунок 1.5 – Вигляд петлі гістерезису для магнітом'яких матеріалів

Магнітом'які сплави і сталі, які мають низьку коерцитивну силу і високу магнітну проникність, застосовують для виготовлення сердечників, магнітних пристроїв, що працюють у змінних магнітних полях. Магнітом'які матеріали повинні мати однорідну (гомогенну) структуру та велике зерно. Як магнітом'який матеріал використовують технічно чисте залізо. Його

застосовують виготовлення серцевиків реле, електромагнітів постійного струму, полюсів електричних машин та інших [11].

Одним із магнітом'яких матеріалів, що має дуже широку область застосування, є спеціальна електротехнічна сталь, легована кремнієм. Вона використовується для роботи в порівняно сильних змінних магнітних полях: силових трансформаторах усіх типів, електричних машинах, дроселях, різних електромагнітних реле, приладах. Випускається електротехнічна сталь, легована кремнієм, в листах і рулонах. Кремній, що вводиться в сталь у кількості 0,8–4,8%, утворює з залізом твердий сплав і різко підвищує питомий електричний опір [12].

Завдяки підвищенню питомого опору в електротехнічній кременистій сталі знижуються втрати на вихрові струми. Наявність кремнію позначається сприятливо й на інших магнітних властивостях: знижуються втрати на гістерезис, збільшується магнітна проникність у слабких і середніх полях, знижується магнітострикція. В таблиці 1.1 наведено марки електротехнічних сталей та їх магнітні властивості.

Таблиця 1.1 - Магнітні властивості електротехнічної сталі

Марка	Товщина листа, мм	Питомі магнітні втрати Вт/Кг		Магнітна індукція (Тл) при напруженості магнітного поля (А/м)			
		P _{1.0/50}	P _{1.0/50}	100	2500	5000	30000
2013	0,5	2,5	5,6	-	1,65	1,75	2,05
2112	0,5	2,6	6,0	-	1,6	1,68	2,02
2212	0,5	2,2	5,0	-	1,6	1,68	2,0
2312	0,5	1,75	4,0	-	1,56	1,66	1,96
2412	0,5	1,3	3,1	-	1,5	1,6	1,95
3411	0,5	1,1	2,45	-	1,75	-	-
3414	0,5	0,7	1,5	1,6	1,88	-	-

Кремній вводять у сталь у вигляді феросиліцію, що містить мінімум вуглецю, який є дуже шкідливою домішкою для кремнистої електротехнічної сталі, як і для інших магнітом'яких матеріалів. Кремній є корисною присадкою і з чисто технологічної точки зору: він гарний розкислювач, покращує структуру, зв'язуючи частину розчинених газів і переводячи кисень у міцні, не відновлювані вуглецем окиси, що сприятливо позначається на магнітом'яких властивостях. Домішки кремнію сприяють переходу вуглецю з більш шкідливої форми цементиту в менш шкідливу форму графіту [13].

Введення в маловуглецеву сталь кремнію збільшує її твердість, межу міцності при розтягуванні, але додає крихкість. У зв'язку з цим електротехнічна кремниста сталь випробується на крихкість. Про крихкість судять за кількістю перегинів, що витримуються пластинкою без зламу [12,13]. Число перегинів залежить від товщини листів, що складає для різних марок 0,1–1,0 мм.

Позначення марок електротехнічної сталі розшифровуються в такий спосіб: буква Е – електротехнічна сталь; перші цифри 1, 2, 3 і 4 після букви Е – ступінь легування кремнієм, а саме: 1 – слаболегована сталь з вмістом кремнію в межах 0,8–1,8% з питомим об'ємним опором $0,2 \times 10^{-6}$ Ом $\times$ м; 2 – середньолегована з вмістом кремнію в межах 1,8–2,8% ($0,4 \times 10^{-6} \times$ Ом $\times$ м); 3 – підвищенолегована сталь з вмістом кремнію в межах 2,8–3,8% ($0,5 \times 10^{-6}$ Ом $\times$ м); 4 – високолегована сталь з вмістом кремнію 3,8–4,8% ($0,6 \times 10^{-6}$ Ом $\times$ м). Другі цифри (від 1 до 8) вказують на найважливіші магнітні властивості: 1 – нормальні питомі втрати; 2 – знижені втрати; 3 – низькі втрати; літера А – особливо низькі втрати; 4 – гарантовані значення втрат при частоті 400 Гц і магнітної індукції в середніх за силою полях; 5 – гарантоване значення відносної магнітної проникності в слабких магнітних полях; 6 – гарантоване підвищене значення відносної магнітної проникності в слабких магнітних полях; 7 – гарантоване значення відносної магнітної проникності в середніх магнітних полях; 8 – гарантоване підвищене значення відносної магнітної проникності в середніх магнітних полях. Третя цифра 0 означає холоднокатану

текстуровану сталь; третя і четверта цифри 00 означають холоднокатану малотекстуровану сталь. Приклади позначення марок: E41, E48A, E3100, E330A [14].

Розходження гарячокатаної і холоднокатаної сталі полягає в тому, що при гарячому прокатуванні відбувається лише слабка орієнтація зерен сталі в напрямку прокатування, і в силу цього вона має незначну анізотропію. Застосування повторного прокатування листової сталі в холодному стані з наступним випалюванням істотно змінює її кристалічну структуру за рахунок орієнтації ребер зерен уздовж напрямку прокатування, відбувається текстурування сталі. Текстурована сталь відрізняється великою магнітною анізотропією, а її магнітні властивості вищі при намагнічуванні в поздовжньому (по ходу прокатування) напрямку.

Холодне прокатування проводиться 2–3 рази з проміжним і залишковим випалюванням, що знижує внутрішні напруження при прокатуванні і відбувається також видалення ряду шкідливих домішок. Щоб уникнути окислювання випалювання проводиться у вакуумі чи в атмосфері водню. Перевагою холоднокатаної сталі є більш висока магнітна індукція і менші втрати при трохи меншому питомому опорі [15].

Приклад: холоднокатана сталь Э320, товщиною 0,35 мм має такі параметри: $B_{25} = 1,8$ Т, $p_{1/50} = 0,7$ Вт/кг, $r = 0,47 \times 10^{-6}$ Ом $\times$ м, а аналогічна сталь гарячекатана має: $B_{25} = 1,46$ Т, $p_{1/50} = 1,4$ Вт/кг, $r = 0,57 \times 10^{-6}$ Ом $\times$ м. B_{25} означає індукцію при $H = 2500$ А/м, $p_{1/50}$ – питомі втрати при індукції, рівній 1 Т, і частоті 50 Гц.

Застосування листової електротехнічної сталі зменшеної товщини позначається сприятливо на зменшенні втрат на вихрові струми. Сталі, тонші за 0,1 мм, дуже дорогі і нестандартизовані. Застосування їх виправдовується лише при підвищеній частоті, тим більше, що при малих товщинах зі зменшенням товщини збільшуються втрати на гістерезис. У якісної висококремнистої сталі втрати на вихрові струми при частоті 50 Гц і індукції 1,0 Т складають не більш 25–30% загальних втрат. При частоті 400 Гц втрати

на гістерезис і вихрові струми в сталях з товщинами 0,35 і 0,075 мм практично рівні, а при 800–1000 Гц більш тонка сталь уже має явні переваги щодо втрат у порівнянні з більш товстою [16].

У кремнистої електротехнічної сталі різних марок магнітна проникність може змінюватися в досить широких межах. У особливо високоякісних сталей початкова відносна магнітна проникність досягає значень 6000–8000, а максимальна доходить до 200 000.

У зв'язку з відомим погіршенням магнітних властивостей листової сталі від механічної обробки (різання, штампування) готові деталі рекомендується піддавати термообробці – обпалюванню з захистом від окислювання.

Окалина, що утворюється при обпалюванні травлених після прокатування листів, має порівняно великий питомий опір, достатній для локалізації вихрових струмів у межах одного листа.

Тривале теплове старіння листової електротехнічної сталі викликає деяке збільшення втрат, тому здійснюється перевірка на старіння для різних марок при температурах 120–150°C протягом 170 год. Припустиме збільшення втрат встановлене в межах від 3 до 9% (у залежності від ступеня легування сталі кремнієм).

Тонка електротехнічна сталь холодного прокатування випускається в рулонах. Осердя з неї одержують методом намотування. Велике практичне значення має зниження питомих втрат в електротехнічних сталях для роботи при 50 Гц у силових потужних трансформаторах і в пристроях підвищеної частоти, що досягається як за рахунок рецептурних змін, так і за рахунок зменшення товщини листів і поліпшення технології прокатування.

Прикладом застосування металокерамічних магнітом'яких матеріалів можуть служити магнітні клини для електричних машин, розроблені на основі систем залізо – алюміній і залізо – кремній [15,16,17]. У першому випадку залізо міститься в межах 82–88 %, у другому 93,5–96 %. Отримані клини мають досить гарні механічні і магнітні параметри, зокрема питому ударну в'язкість до 2,1 кДж/м².

Пермалої. Це залізонікелеві сплави, які мають досить велику початкову магнітну проникність в області слабких полів і практичну відсутність у них анізотропії та магнітострикції. Розрізняють високонікелеві і низьконікелеві пермалої. Високонікелеві пермалої містять 72–80% Ni, низьконікелеві – 40–50% Ni. В таблиці 1.2 наведено марки та магнітні властивості пермалоїв [17].

Таблиця 1.2 - Магнітні і електричні властивості пермалоїв

Марка	$\mu_{\text{п}} \cdot 10^3$	$\mu_{\text{max}} \cdot 10^3$	H_{C} , А/м	B_{max} , Тл	ρ , мкОм·м
Нелеговані, низьконікелеві					
45Н, 50Н	1,7...3	16...35	32...10	1,5	0,45
Леговані, низьконікелеві					
50НХС	1,5...3,2	15...30	20...8	1,0	0,90
Леговані, високонікелеві					
79НМ	16...35	50...220	5,2...1,0	0,65	0,55
80НХС					
76НХД					
79НМ-У					
Супермалой					
79%Ni–5%Mo– 15%Fe–0,5%Mn	100	до 1500	0,3	0,8	0,60

Зміна основних магнітних властивостей і питомого опору сплавів залізо–нікель, у залежності від вмісту нікелю, показана на рис. 1.6. Найбільше значення максимальної магнітної проникності має сплав, що містить 78,5% Ni. Дуже легку намагнічуваність пермалоїв у слабких полях пояснюють практичною відсутністю в них анізотропії.

Магнітні властивості пермалоїв дуже чутливі до зовнішніх механічних напруг, залежать від хімічного складу та наявності сторонніх домішок у сплаві, а також дуже різко змінюються від режимів термообробки матеріалу

(температури, швидкості нагрівання й охолодження, складу навколишнього середовища тощо). Термічна обробка високонікелевих пермалоїв складніша, ніж низьконікелевих.

Індукція насичення високонікелевих пермалоїв майже в два рази нижча, ніж в електротехнічній сталі, і в півтора рази нижча, ніж у низьконікелевих пермалоїв [18].

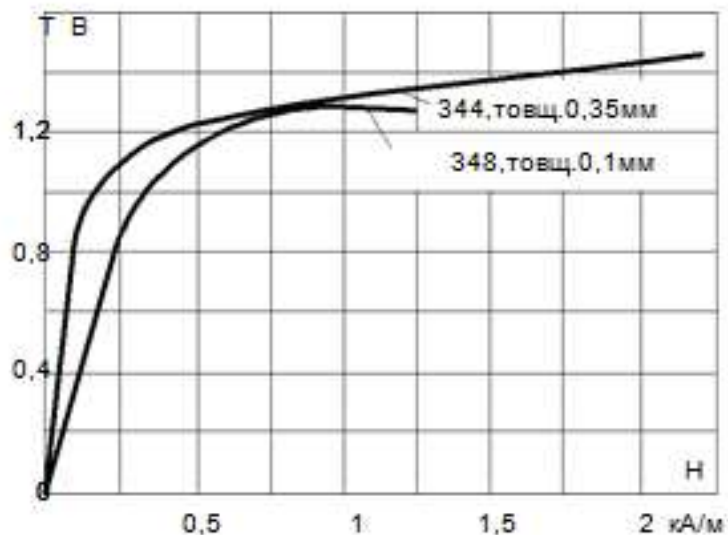


Рисунок 1.6 - Зміна основних магнітних властивостей і питомого опору сплавів залізо – нікель, у залежності від вмісту нікелю

Магнітні проникності високонікелевих пермалоїв у кілька разів вищі, ніж у низьконікелевих, і набагато перевищують проникності електротехнічних сталей. Питомий опір високонікелевих пермалоїв майже в три рази менший, ніж низьконікелевих, тому при підвищених частотах переважно використовують низьконікелеві пермалої. Крім того, магнітна проникність пермалоїв сильно знижується зі збільшенням частоти, і тим різкіше, чим більше її початкове значення. Це пов'язано з виникненням у матеріалі помітних вихрових струмів через невеликий питомий опір. Вартість пермалоїв визначається вмістом у їхньому складі нікелю.

Різновиди пермалоїв. Сплави залізонікелеві з високою магнітною проникністю випускаються декількох груп, кожна з яких містить ще ряд

марок. У марках пермалоїв буква Н означає нікель, К – кобальт, М – марганець, Х – хром, С – кремній, Д – мідь. Додаткова буква У означає сплав з поліпшеними властивостями, П – із прямокутною петлею гістерезиса. Цифра в марці вказує процентний вміст нікелю. Крім найбільш освоєних у промисловому виробництві марок пермалоїв, інтерес викликає сплав, що одержав назву супермалой з дуже високими магнітними властивостями в слабких полях [19].

Застосування пермалоїв. Сплави 45Н и 50Н застосовують для виготовлення осердь малогабаритних силових трансформаторів, дроселів, реле і деталей магнітних кіл, що працюють при підвищених індукціях без підмагнічування або з невеликим підмагнічуванням. Зі сплаву 50НХС виготовляють осердя імпульсних трансформаторів і апаратури зв'язку звукових і високих частот. Сплави 79НМ, 80НХС, 76НХД використовують для виготовлення осердя малогабаритних трансформаторів, реле і магнітних екранів при товщині 0,02 мм, осердя імпульсних трансформаторів, магнітних підсилювачів і безконтактних реле. Тонкі стрічки з пермалоїв різних марок використовують як матеріал для комірок пам'яті в пристроях лічильно-обчислювальної техніки.

Ферити являють собою магнітну кераміку з незначною електронною електропровідністю. Великий питомий опір, що перевищує ρ заліза в 10^6 – 10^{11} разів, і відносно невеликі втрати енергії в області підвищених і високих частот забезпечують феритам широке застосування. Ферити являють собою системи з окислів заліза й окислів двовалентних, рідше – одновалентних металів, що відповідають загальній формулі $MeO \times Fe_2O_3$, де Me – символ двовалентного металу. Ферити мають кубічні кристалічні ґратки, подібні до ґраток шпінелі, що зустрічається в природі: $MgO \times Al_2O_3$. Більшість сполук зазначеного типу, як і природний магнітний залізняк (магнетит) $FeO \times Fe_2O_3$ [20], мають магнітні властивості, але сполуки $ZnO \times Fe_2O_3$ і є немагнітними. Наявність або відсутність магнітних властивостей визначається кристалічною структурою цих матеріалів і, зокрема, розташуванням іонів двовалентних металів і заліза

між іонами кисню. У випадку структури звичайної шпінелі, коли в центрі кисневих тетраедрів розташовані іони Zn^{++} або Cd^{++} , магнітні властивості відсутні. При структурі оберненої шпінелі, коли в центрі кисневих тетраедрів розташовані іони Fe^{++} , матеріал має магнітні властивості. Марки та магнітні властивості феритів наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Магнітні і електричні властивості феритів

Марка	$\mu_n \cdot 10^3$	$\mu_{max} \cdot 10^3$	H_C , А/м	B_r , Тл	$f_{гр}$, МГц	θ , °С	ρ , Ом·м	Густина, т/м ³
20000НМ	15	35	0,24	0,11	0,1	110	0,001	-
6000НМ	4,8...8	10	8	0,11	0,5	130	0,1	5,0
1000НМ	0,8...1,2	1,8	28	0,11	5	200	0,5	4,5
600НН	0,5...0,8	1,5	40	0,12	5	110	100	4,8
2000НМ1	1,7...2,5	3,5	25	0,12	1,5	110	5	5,0
700НМ1	0,55...0,85	1,8	25	0,05	8	200	4	4,8
100ВЧ	0,08...0,12	0,28	300	0,15	80	200	10^5	4,8
20ВЧ2	0,016...0,024	0,045	1000	0,10	300	400	10^6	4,7
300НН	0,28...0,35	0,6	80	0,13	20	450	10^6	4,8
9ВЧ	0,009...0,013	0,03	1500	0,06	600	120	10^7	4,4
200ВЧ	0,18...0,22	0,36	70	0,11	-	360	10^3	4,7
50ВЧ3	0,045...0,065	0,2	100	0,14	-	480	10^4	4,6

Процентний склад компонентів відіграє істотну роль в одержанні тих або інших магнітних властивостей матеріалу. Ферити, які використовують в техніці, називають оксиферами, вони являють собою складні оксидні феромагнетики. Технологія виготовлення феритів має досить істотний вплив на властивості готових виробів [21]. Технологічний процес виробництва феритових виробів зводиться до того, що попередньо одержують феритовий порошок, що складається з тонко подрібнених, ретельно перемішаних і

обпалених окислів відповідних металів. До нього додають пластифікатор – розчин полівінілового спирту – і з отриманої маси пресують під великим тиском вироби необхідної форми. Далі піддають випаленню при температурі 1100–1400 °С. При цьому відбувається спікання й утворення твердих феритів. Усадка феритів при випалюванні може досягати 20%. Ферити – тверді і крихкі матеріали, що не дозволяють проводити обробку різанням і допускають тільки шліфування і полірування [22].

Ферити з великим значенням μ мають і велике значення втрат, що швидко ростуть зі збільшенням частоти. На рис. 1.7 наведені залежності початкової магнітної проникності від температури для марганець-цинкових і нікель-цинкових феритів.

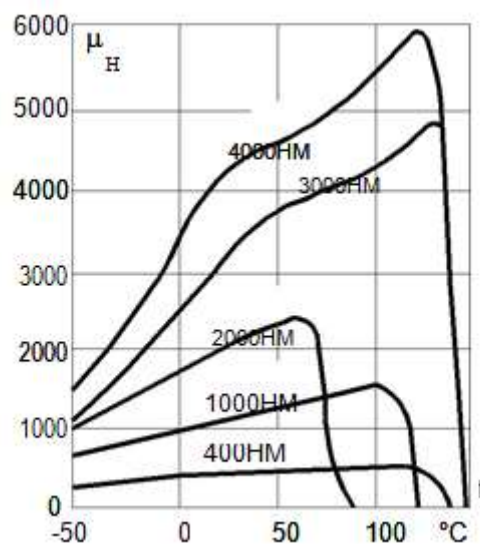


Рисунок 1.7 - Залежності початкової магнітної проникності від температури для марганець-цинкових і нікель-цинкових феритів

Як видно з кривих, μ_n підвищується з ростом температури до точки Кюрі, а потім різко падає. При цьому чим вище значення початкової проникності, тим нижче буде розташовуватись точка Кюрі в межах цього різновиду феритів. Основні фізичні характеристики феритів такі: густина 3–5 Мг/м³, питома теплоємність близько 0,7 кДж/(кг·К), теплопровідність

приблизно $5 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, температурний коефіцієнт лінійного розширення порядку 10^{-5} К^{-1} , питомий опір $10^{-1} \div 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Ферити мають відносно велику діелектричну проникність, що залежить від частоти і складу феритів. З підвищенням частоти діелектрична проникність феритів падає. Тангенс кута втрат феритів – від 0,005 до 0,1. У феритах спостерігається явище магнітострикції. В різних феритах цей ефект виявляється по-різному. Феритам з низькою температурою Кюрі властивий менший магнітострикційний ефект.

В даний час знаходять основне застосування такі групи змішаних феритів: марганець-цинкові, цинкові і літій-цинкові. Гранична частота для різних марок феритів знаходиться в межах від 0,2 до 20 МГц [23].

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Листова електротехнічна сталь (табл.2.1) є найважливішим магнітом'яким матеріалом, який використовують для виготовлення магнітопроводів і магнітоактивних частин різноманітних електротехнічних пристроїв. Властивості електротехнічних анізотропних сталей (ЕАС) значною мірою визначають характеристики, економічність, габарити пристроїв і можливість їхнього вдосконалення. тому поліпшенню технології виробництва і підвищенню характеристик сталей, особливо їхніх магнітних властивостей, в усьому світі приділяється велику увагу.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад досліджуваної магнітом`якої сталі із анізотропною текстурою

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S	P
0.24	1.42	1.35	0.31	1.71	0.4	0,05	0,05

Нині широко використовується електротехнічна анізотропна сталь із ребровою текстурою (текстурою Госса) $\{110\}<001>$. Використання сталі з такою текстурою забезпечує зниження ватних втрат на десятки відсотків. Отримання подібної сталі досягається шляхом проходження нею механічних і термічних процесів, під час яких послідовно ведеться підготовка до утворення кристалографічної текстури.

2.1 Дослідження фазовий і структурних перетворень

Фазові та структурні перетворення переохолодженого повітря визначали за допомогою використання дилатометрів Linseis L78 R.I.T.A та Linseis L75VD1600C.

Гартівний дилатометр L78 RITA (Rapid Induction Thermal Analysis) чудово підходить для побудови термокінетичних діаграм перетворень при безперервному нагріванні (СНТ перетворень при безперервному нагріванні (СНТ) і безперервному охолодженні (ССТ), а також ізотермічних діаграм перетворень під час охолодження (ТТТ). Спеціальна індукційна піч дає змогу реалізувати швидкості нагрівання й охолодження понад $2000^{\circ}\text{C}/\text{с}$.

Усі важливі параметри, як-от швидкість нагріву й охолодження, керування газом і системи захисту охолодження, управління газом і системи захисту контролюються програмним забезпеченням.

Циліндричні зразки діаметром 3 - 4 мм і довжиною 10 мм нагрівали до температури аустенізації $T_{\text{ауст}} = 925^{\circ}\text{C}$, витримували 15 хвилин, потім охолоджували з постійною швидкістю $0,025 - 75^{\circ}\text{C}/\text{сек}$. В ході нагрівання й охолодження реєстрували зміну довжини зразків.

2.2 Дослідження мікроструктури

Досліджували мікроструктуру на оптичному мікроскопі. Технологія приготування мікрошліфа в загальному випадку включає такі операції (етапи):

- вирізання необхідного зразка;
- вирівнювання його поверхні, обраної для дослідження;
- шліфування цієї поверхні до зникнення дрібних нерівностей;
- полірування поверхні до дзеркального блиску;
- травлення дзеркальної поверхні для виявлення деталей мікроструктури.

В оптичному мікроскопі зображення формується у відбитому світлі. У сучасних оптичних мікроскопах використовується збільшення від 100 до 2500 разів. З їхньою допомогою можна розрізняти структурні складові та фази розміром не менше $0,2\text{ мкм}$.

Більшість металографічних досліджень з використанням оптичних мікроскопів ґрунтуються на застосуванні світлопольного (вертикального) освітлення. Для додаткового підвищення контрастності застосовують інші види освітлення: метод косого освітлення, метод темнопідлогового освітлення, дослідження в поляризованому світлі, метод фазового контрасту, метод інтерференційного контрасту, система диференціального контрасту.

Мікроскопічне дослідження спеціально підготовленого зразка дає змогу вивчати такі структурні особливості, як форма, розмір, розподіл фаз і неметалевих включень, розмір зерна, лікваційні області, дислокації з використанням ямок травлення та інше. Розроблено кілька типів мікроскопів для вивчення мікроструктури металів і сплавів у різних температурних умовах. З їхньою допомогою можна проводити спостереження за зростанням зерна в металі під час нагрівання, фазовими перетвореннями, процесом спікання, поверхневими явищами. Існують пристосування, що дають змогу проводити деформацію нагрітого зразка і дають змогу спостерігати за процесами ковзання, двійнікування, релаксації, фазовими перетвореннями, що відбуваються в матеріалі зразка.

2.3 Вимірювання твердості матеріалу

Після охолодження до кімнатної температури вимірювали твердість HRC зразків.

Твердість за Роквеллом - твердість, яка визначається різницею між умовною максимальною глибиною проникнення індентора і залишковою глибиною його впровадження під дією основного навантаження F_1 , після зняття цього навантаження, але за збереження попереднього навантаження F_0 . При цьому методом індентором є алмазний конус або сталева загартована куля. На відміну від вимірювань за методом Брінелля твердість визначають

за глибиною відбитка, а не за його площею. Глибина відбитка вимірюється в самому процесі вдавнення, що значно спрощує випробування. Навантаження додається послідовно у дві стадії: спочатку попереднє, зазвичай рівне 100 МПа (для усунення впливу пружної деформації та різного ступеня шорсткості), а потім основне.

Після застосування попереднього навантаження індикатор, що вимірює глибину відбитка, встановлюється на нуль. Коли відбиток отримано додатком остаточного навантаження, основне навантаження знімають і вимірюють залишкову глибину проникнення наконечника h .

Твердомір Роквелла вимірює різницю між глибиною відбитків, отриманих від вдавнення наконечника під дією основного і попереднього навантажень. Кожен тиск (одиниця шкали) індикатора відповідає глибині вдавнення 2 мкм. Однак умовне число твердості за Роквеллом (HR) являє собою не зазначену глибину вдавнення h , а величину $100 - h$ за чорною шкалою під час вимірювання конусом і величину $130 - h$ за червоною шкалою під час вимірювання кулькою. Числа твердості за Роквеллом не мають розмірності і того фізичного сенсу, який мають числа твердості за Брінелем, проте можна знайти співвідношення між ними за допомогою спеціальних таблиць.

Під час вимірювання твердості методом Роквелла необхідно, щоб на поверхні зразка не було окалини, тріщин, вибоїн тощо. Необхідно контролювати перпендикулярність прикладання навантаження і поверхні зразка та стійкість його положення на столику приладу. Відстань відбитка має бути не менше 1,5 мм при вдавлюванні конуса і не менше 4 мм при вдавлюванні кульки. Товщина зразка повинна не менше ніж у 10 разів перевищувати глибину впровадження наконечника після зняття основного навантаження. Твердість слід вимірювати не менше 3 разів на одному зразку, усереднюючи отримані результати.

3 ВПЛИВ ЛЕГУВАННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СТАЛЕЙ

3.1 Аналіз діаграми стану залізо – кремній

Діаграма стану (рисунок 3.1) характеризує взаємодію хімічних речовин в умовах рівноваги, кристалічну структуру речовин і природу хімічного зв'язку, структуру речовин і природу хімічного зв'язку. Відомо, що магнітні властивості магнетиків значною мірою визначаються кристалічною структурою. Значною мірою визначаються кристалічною структурою сплавів і сполук.

Крива температури плавлення залізокремнистих сплавів із підвищення вмісту кремнію (Si) спочатку знижується, потім зростає. Залізокремністі сплави магнітні при вмісті Si до 33%.

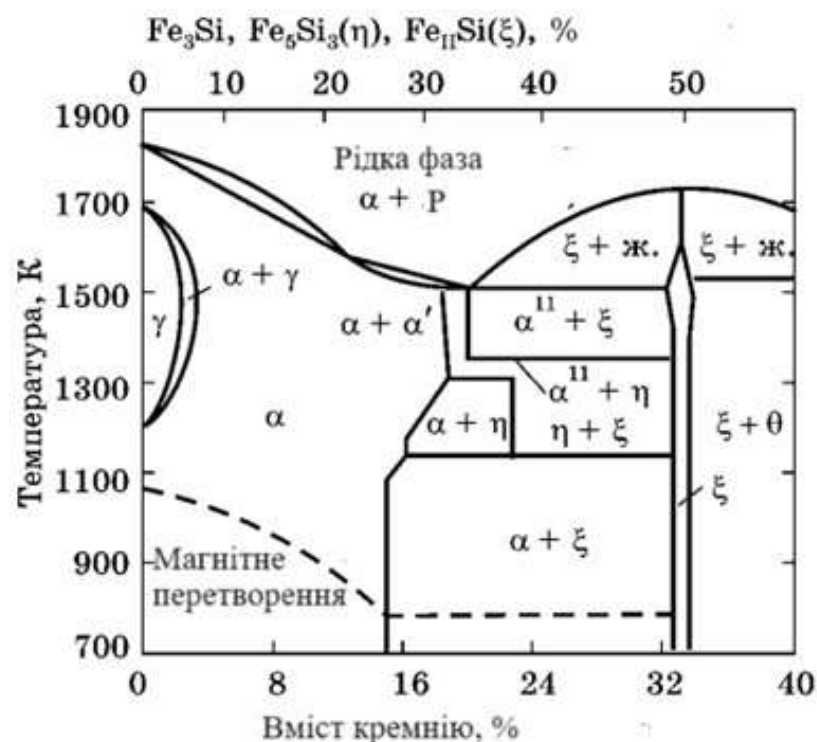


Рисунок 3.1 – Діаграма стану Fe-Si

Сплави, що містять до 15% Si, уявляють собою твердий розчин кремнію в α -залізі (Fe). При 25% у сплаві відбувається повне впорядкування з утворенням надструктури Fe_3Si . При температурі вище 1103 K з'являються α^1 , α^{11} і η – фази. Остання тотожна з'єднанню Fe_5Si_3 (23% Si) і стабільна тільки в інтервалі температур 1098...1303 K. Фазі α^{11} відповідає формула $\text{Fe}_{11}\text{Si}_5$.

Сплави, що містять 15...33% Si, мають дві точки Кюрі: першу (363...393 K) та другу (723...813 K). Нижча точка Кюрі приписується сплавам з невеликою кількістю (фази, що є у нерівноважному стані. Фаза є немагнітною. У чистих сплавах, вміст більше 2,5% Si, в області твердих розчинів існує фаза. Однак присутність кількох сотих відсотка вуглецю може розширити $\alpha+\gamma$ область та змістити границю між $\alpha + \gamma$ та α -областями до 5% Si. Тому в найбільш часто застосовуваних промислових сплавах, які містять до 5% Si, лише незначна частина кристалітів перетворюється на фазу при температурах вище 1073 K. З цієї причини звичайний відпал проводиться нижче за цю температуру. При вмісті вуглецю 0,1% вуглецю границя $\alpha + \gamma$ області розширюється до 7...8% Si.

3.2 Вплив легувальних елементів на магнітні властивості електротехнічних сталей

Кремній є перспективним магнітом'яким матеріалом з підвищеною проникністю та малими втратами на перемагнічування. Сплав заліза з кремнієм представляє твердий розчин заміщення. Ефективний діаметр атомів кремнію менше діаметра атомів заліза, тому постійна ґратки зі збільшенням вмісту кремнію зменшується. При вмісті 5% Si починається упорядкування сплаву. Повне впорядкування може бути досягнуто при вмісті в залізокремнистому сплаві 14,35% Si. Зниження густини сплаву (кг/м^3) в залежності від вмісту кремнію можна обчислити за формулою 3.1

$$\gamma = (7,8740 - 0,0622p) \cdot 10^3 \quad (3.1)$$

де p – вміст кремнію, % мас.

Легування заліза з кремнієм призводить до збільшення питомого електричного опору сплаву. Залежність питомого електричного опору від процентного вмісту кремнію визначається наступним співвідношенням:

$$\rho = (0,10 + 0,12/7)10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (3.2)$$

Негативна дія кремнію на магнітні властивості зводиться до зниження магнітної індукції насичення. Зазначено, що магнітна індукція насичення знижується на 0,048 Тл за кожен відсоток кремнію:

$$B_{\max} = (2,160 - 0,048p) \quad (3.3)$$

Така зміна спостерігається за вмістом кремнію до 14%. При подальшому збільшенні частки кремнію індукція насичення зменшується, а за 33% феромагнітні властивості сплаву зникають.

Дослідження змін констант магнітострикції наведено в таблиці 3.1 .

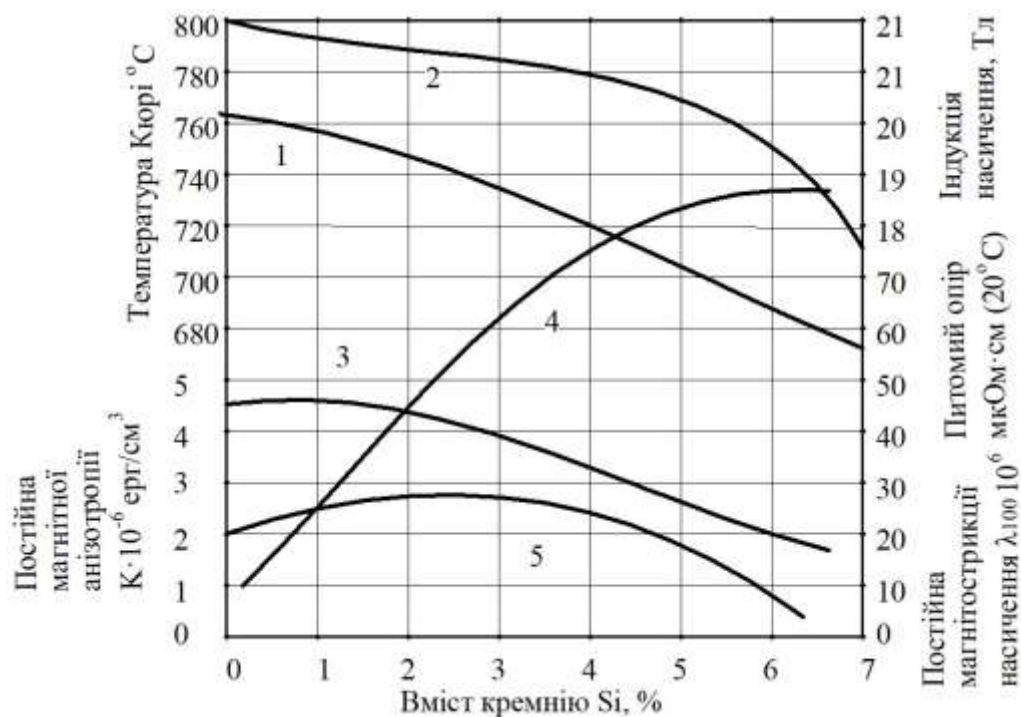
Таблиця 3.1 – Залежність констант магнітострикції від вмісту кремнію

Константа магнітострикції	Вміст кремнію , % мас						
	1,8	3,0	4,0	5,0	6,0	6,5	7,0
λ_{100}	$27 \cdot 10^3$	$26 \cdot 10^3$	$17 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	0	$-5 \cdot 10^3$
λ_{111}	$-7 \cdot 10^3$	$-5 \cdot 10^3$	$-2 \cdot 10^3$	0	$2 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$	$3,5 \cdot 10^3$

Температура Кюрі, як і індукція насичення, зі збільшенням частки кремнію, знижується. До вмісту 6,5% кремнію вона знижується з 1053 до 983К.

За тих самих змін вмісту кремнію постійна магнітна анізотропія K_p , зменшується майже лінійно з $42,5 \cdot 10^3$ до $16 \cdot 10^3$ Дж/м³. З огляду на те, що постійна магнітної анізотропії спадає, а коерцитивна сила пов'язана певним співвідношенням з постійною анізотропії ($H_c \propto K_p$), можна пояснити спостережуване зниження коерцитивної сили зі збільшенням частки кремнію.

На рисунку 3.2 наведено графіки залежності магнітних властивостей від вмісту кремнію.



1 – температура Кюрі; 2 – індукція насичення; 3 – постійна магнітної анізотропії; 4 – питомий електроопір; 5 – постійна магнітострикція насичення

Рисунок 3.2 – Залежність магнітних властивостей електротехнічних сталей від вмісту кремнію

Сталі легують кремнієм для того, щоб підвищити магнітну проникність у слабких та середніх магнітних полях, зменшити константи магнітної кристалографічної анізотропії та магнітострикції. Крім цього, кремній спричиняє зростання величини зерна, підвищує ступінь розкислення рідкого металу в процесі виплавки та сприяє деякій графітизації вуглецю, а також

кремній знижує коерцитивну силу і втрати на гістерезис та вихрові струми. Проте кремній знижує величину магнітної індукції насичення та погіршує механічні властивості сталі. Також у системі залізо – кремній, при насиченні кремнієм знижується крапка Кюрі. Легування електротехнічної сталі кремнієм проводиться з метою покращення її магнітних та електричних властивостей за рахунок збільшення питомого електроопору.

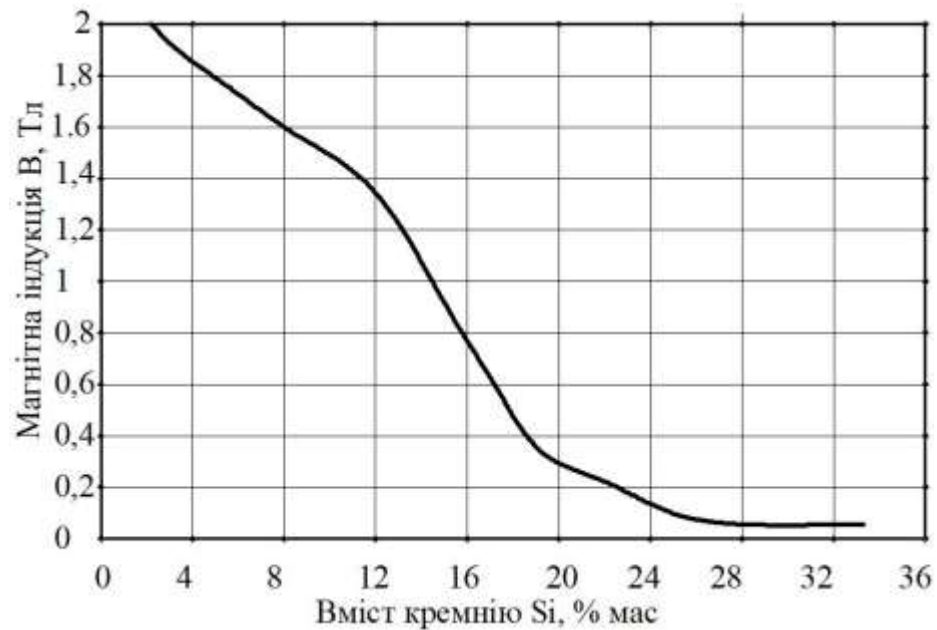


Рисунок 3.3 – Залежність магнітної індукції від вмісту кремнію

Шкідливий вплив кремнію проявляється в зниженні величини магнітної індукції насичення. Введення в сталь тільки 1% (за масою) кремнію знижує магнітне старіння до 6...8 %.

При зміні вмісту кремнію від 1,0 до 4,0% питомий електроопір сплаву збільшується в 2,5 рази, що сильно зменшує втрати на вихрові струми.

Збільшення концентрації кремнію призводить до різкого зниження температурного коефіцієнта електричного опору. Це забезпечує сталі з підвищеним вмістом кремнію незначну температурну залежність втрат на вихрові струми. Вже при вмісті 2,0-2,5% кремній -твердий розчин. Це дозволяє отримати у металі велике зерно, і дозволяє нагрівати сталь до високих температур без фазової перекристалізації.

Алюміній багато в чому схожий на кремній за впливом на сплав. Він також підвищує електроопір і знижує індукцію насичення. Як і кремній, алюміній також є феритоутворювальним елементом. Сталь стає феритною вже за 1 % алюмінію. Подальше збільшення вмісту алюмінію призводить до зростання зерна, проте його збільшення, через дії алюмінію, спостерігається до температури відпалу 850°C. При температурах близько 1000...1100°C магнітні властивості погіршуються у зв'язку з тим, що відбувається окислення алюмінію й утворюється глинозем.

Водночас алюміній погіршує технологічність сталі при гарячій і холодній прокатках. Уже за 0,08% (мас.) алюмінію спостерігається утворення великої кількості дефектів на крайках гарячекатаних смуг.

Підвищення концентрації алюмінію погіршує так само якість поверхні холоднокатаних смуг. Залежність питомих втрат від концентрації кислородозчинного алюмінію в сталі, вказана на рисунку 3.3

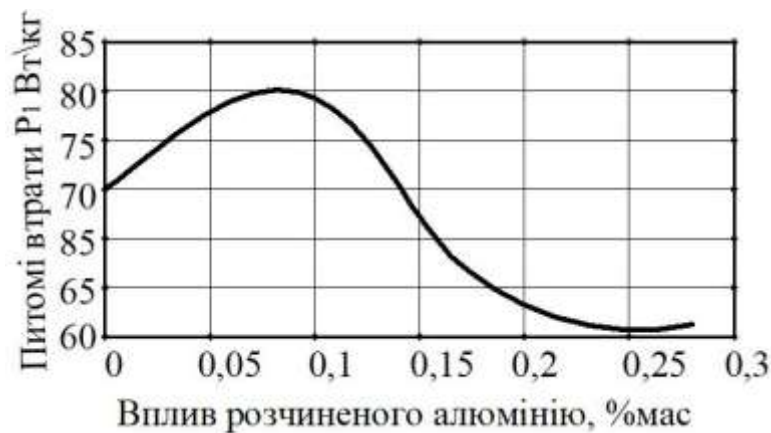


Рисунок 3.3 – Вплив вмісту алюмінію на питомі втрати

Алюміній застосовується як розкислювач рідкої сталі, що підвищує якість сталі під час виплавки, оскільки він зв'язує кисень і азот включення, яких легко позбутися в процесі позапічної обробки рідкого металу.

Високий вміст алюмінію в сталі прискорює утворення нітридів алюмінію (AlN) і їх виділення за високих температур (δ – фаза). Нітриди алюмінію уповільнюють нормальний ріст зерен, тим самим створюючи умови

для протікання вторинної рекристалізації з утворенням ребрової текстури. Оптимальним для ізотропної електротехнічної сталі вважається вміст алюмінію в межах 0,20...0,60%. Однак навіть невелика кількість алюмінію погіршує процеси прокатки сталі. Уже 0,08 % за масою алюмінію створює величезну кількість дефектів на крайках смуг. Подальше збільшення вмісту алюмінію призводить до помітного зниження якості поверхні смуги після холодної прокатки.

Вуглець є однією з найбільш шкідливих домішок в електротехнічній сталі. Залежність магнітної індукції від вмісту вуглецю вказана на малюнку 3.4.

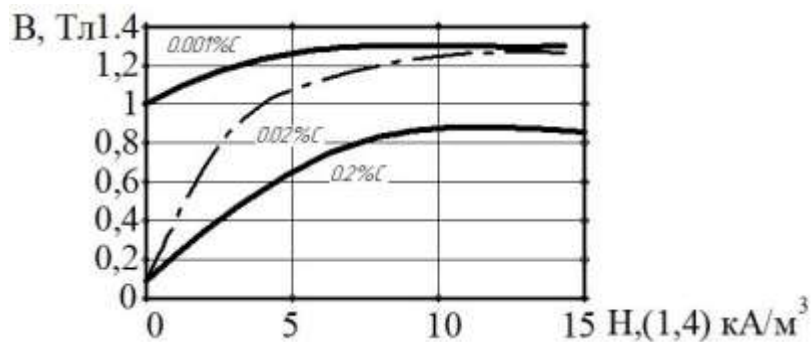


Рисунок 3.4 – Вплив домішки вуглецю на криві намагнічування заліза

Зниження вмісту вуглецю в сталі на 0,015% у досліджуваному інтервалі 0,03...0,05% сприяють зменшенню питомих втрат на 0,5 Вт/кг і підвищенню магнітної індукції на 0,15 Тл.

Ступінь впливу вуглецю на магнітні властивості залежить від форми його виділення у твердому розчині у вигляді цементиту.

Найбільш несприятливий вплив на магнітні властивості металу чинить виділення вуглецю у формі структурно вільних карбідів, розташованих усередині зерен фериту або на кордонах зерен.

Виплавляти електротехнічну сталь слід з якомога нижчим вмістом вуглецю, але зниження його в сталі до 0,03...0,02% супроводжується інтенсивним насиченням її киснем і азотом.

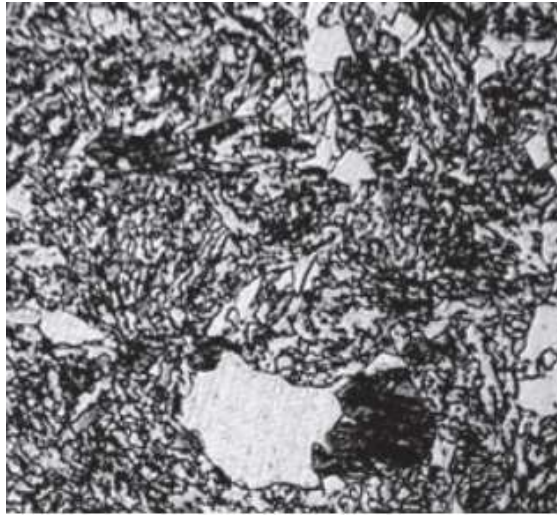
Азот спричиняє ще сильніший негативний вплив на магнітні властивості сталі, ніж вуглець. Утворення в сталі нітридів і карбідів, викликане наявністю азоту, призводить до помітного погіршення коерцитивної сили і втрат на перемагнічування.

3.3 Термічна обробка магнітом`яких сталей для електричних машин

Термічну обробку сталі, хімічний склад, якої наведено в таблиці 2.1 проводять з метою надання виробу найкращих механічних та фізичних властивостей.

За результатами дилатометричних досліджень встановлено критичні температури досліджуваної сталі: $A_{c1} = 730 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $A_{c3} = 875 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$. У зв'язку з цим для подальших досліджень було прийнято температуру аустенітизації 925°C . Встановлено, що в результаті охолодження з 925°C зі швидкостями від $0,025$ до $0,3 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ у структурі сталі присутні продукти перетворення аустеніту за першою ступеня (феритно-перлітна суміш) і продукти аустенітного перетворення (рис. 3.4, а). Температурний інтервал формування феритно-перлітної суміші $780...610^{\circ}\text{C}$ при швидкості охолодження $0,025^{\circ}\text{C}/\text{с}$, $720...640^{\circ}\text{C}$ – при швидкості охолодження $0,3 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$. Перетворення за другим ступенем в інтервалі швидкостей охолодження $0,025...0,3 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ починається при $480...500^{\circ}\text{C}$. Температура зупинки бейнітного перетворення в зазначеному інтервалі швидкостей охолодження $315...330^{\circ}\text{C}$. У даній області охолоджується метастабільний аустеніт без будь-яких перетворень, що фіксуються дилатометричним методом. Температурний інтервал області відносної стійкості аустеніту для розглянутої сталі досить широкий і становить близько $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$: від $610 ...640$ до $480...500^{\circ}\text{C}$. За швидкості охолодження $0,2...0,3^{\circ}\text{C}/\text{с}$ у структурі поряд із феритно-перлітною сумішшю і бейнітом утворюється невелика кількість мартенситу (рис. 3.4, б) Температура

мартенситного перетворення, що фіксується дилатометрично, за даних швидкостей охолодження 275...295 °С. Мікроструктура сталі при різних швидкостях охолодження наведена на рисунку 3.4



а



б



в



г

а – 0,025 °C/c; б – 0,2 °C/c; в – 0,7 °C/c; г – 75 °C/c

Рисунок 3.4 - Мікроструктура досліджуваної сталі, сформована під час охолодження від 925°С від різних температур

При збільшенні швидкості охолодження понад 0,3 °C/c дифузійне перетворення в сталі повністю пригнічується, перетворення аустеніту відбувається лише з утворенням бейніту й мартенситу (рис. 3.4, в).

Температура початку бейнітного перетворення $^{\circ}\text{C}$, при підвищенні швидкості охолодження знижується 490...500 при швидкості охолодження 0,3 $^{\circ}\text{C}/\text{с}$; 445...455 при 0,7; 390...400 при 1; 380 - 390 при 10. Повністю мартенситна структура в досліджуваній сталі формується лише при охолодженні зі швидкістю понад 10 $^{\circ}\text{C}/\text{с}$ (рис. 3.4, г). Температура початку мартенситного перетворення в сталі, визначена при охолодженні зі швидкістю 30 і 75 $^{\circ}\text{C}/\text{с}$, 340...345 $^{\circ}\text{C}$.

За результатами проведених досліджень побудували термокінетичну діаграму перетворення переохолодженого аустеніту в досліджуваній сталі.

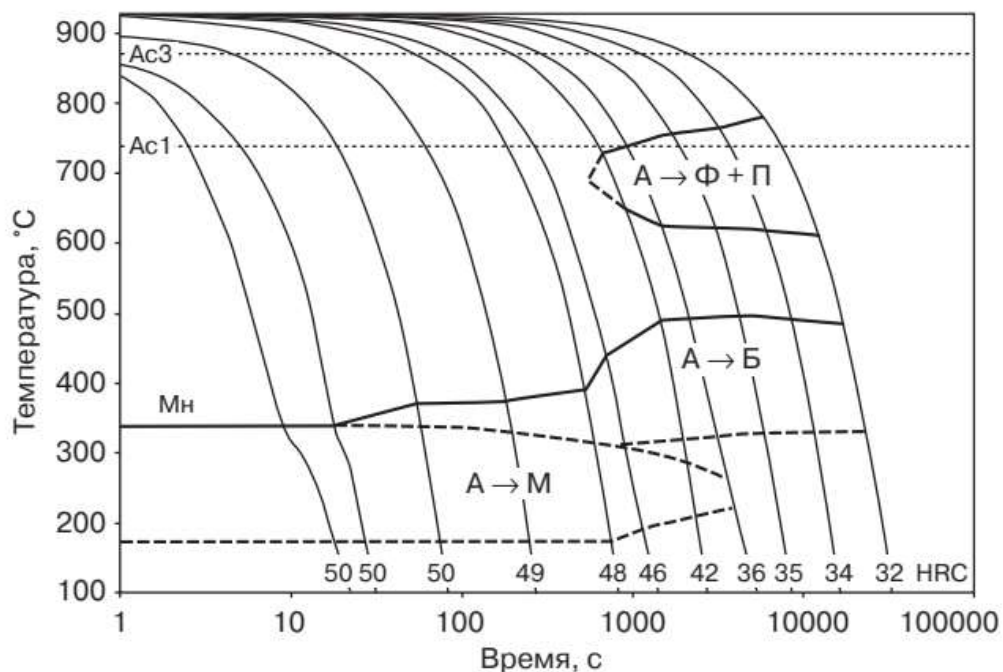


Рисунок 3.5 - Термокінетична діаграма перетворення переохолодженого аустеніту досліджуваної сталі (температура аустенізації 925 $^{\circ}\text{C}$, витримка 15 хв)

Із діаграми випливає, що для пригнічення формування в структурі сталі продуктів дифузійних перетворень з пониженим рівнем механічних властивостей охолоджувати вироби при температурній обробці необхідно зі швидкістю вище 0,7 $^{\circ}\text{C}/\text{с}$. В тому випадку в мікроструктурі сталі буде бути

присутнім бейніт і мартенсит з високим рівнем механічних властивостей після відпуску.

Досліджували вплив температури і тривалості відпуску після гартування на структуру і твердість досліджуваної сталі. Для цього сталь гартували в олії від 925 °С (рисунок 3.6).

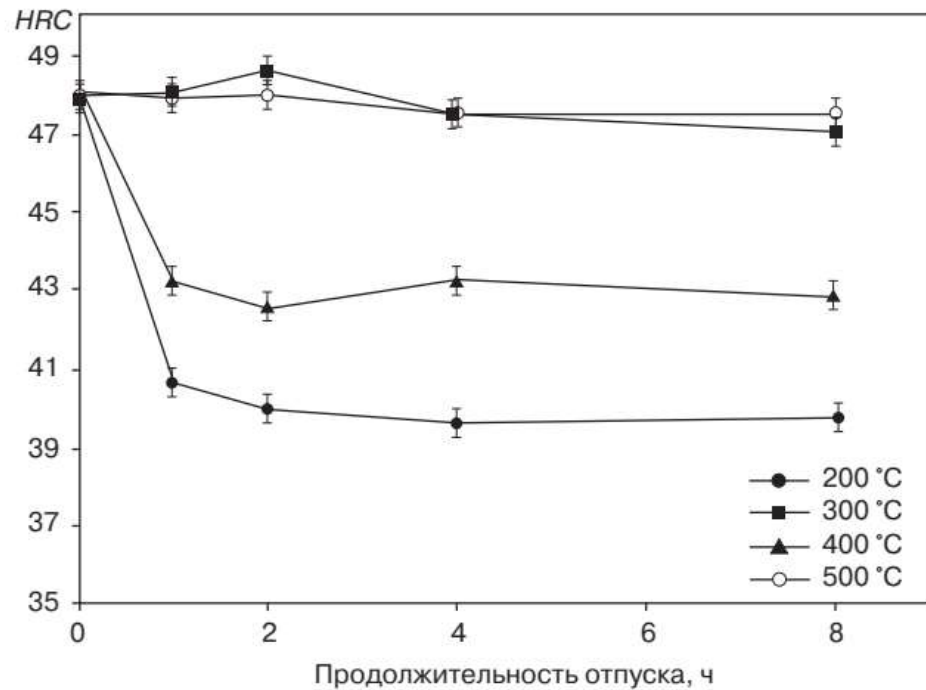
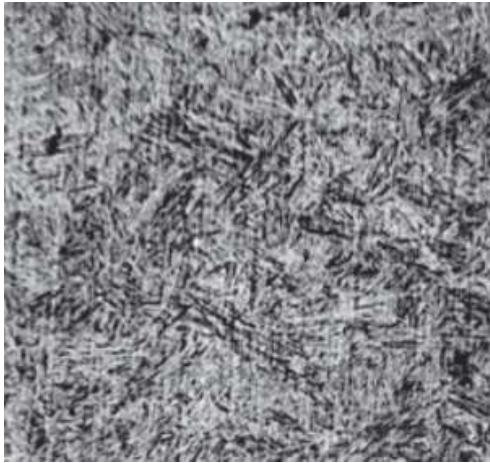


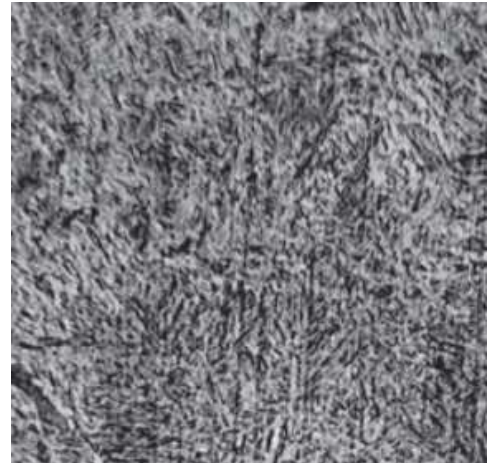
Рисунок 3.6 - Залежність твердості досліджуваної сталі від температури і тривалості відпуску

Витримка при температурі гартування 40 хвилин. Загартовані зразки піддавали 1-8-год відпуску при 200, 300, 400 і 500 °С. Установлено, що відпуск 200...300°С практично не впливає на рівень твердості сталі. Мікроструктура при цьому відпущений мартенсит (рис. 3.7 а, б). При підвищенні температури відпуску до 400°С твердість сталі знижується до HRC 42...44. Це пов'язано з виділенням карбідної фази і формуванням структури сорбіту відпуску (рис. 3.6, в). Подальше підвищення температури відпуску призводить до зниження твердості сталі до HRC 39...40 внаслідок виділення і коагуляції частинок карбідної фази (рис. 3.6, г). Встановлено також що оптимальна тривалість відпуску при будь-якій температурі витримки 3...4 год, оскільки

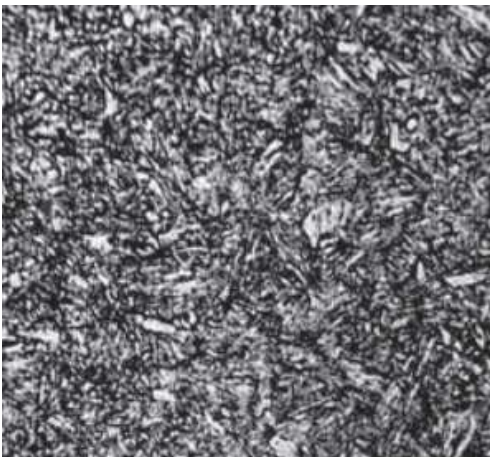
більша витримка не призводить до суттєвої зміни мікроструктури сталі. Таким чином досліджувана сталь характеризується достатньою мірою високим рівнем властивостей міцності після відпуску при $t < 500\text{ }^{\circ}\text{C}$.



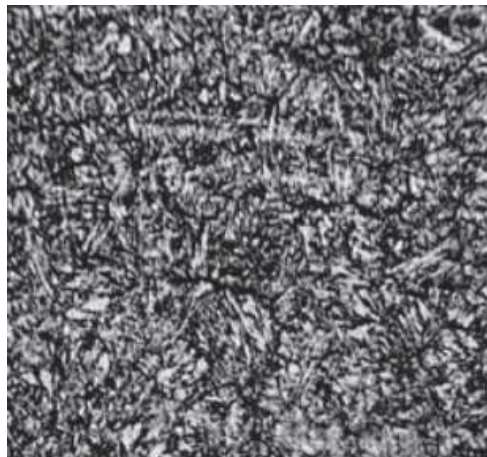
а



б



в



г

а – 200 °C; б – 300°C; в – 400°C; г – 500°C

Рисунок 3.6 - Мікроструктура досліджуваної сталі після 8-год відпуску різних температур

Результати досліджень використовували при призначенні режиму технології термообробки циліндричних заготовок для машинобудівних заводів.

На підставі висунутих вимог рекомендували режим термічної обробки деталей рекомендували режим термічної обробки деталей: температура аустенітизації 925 °С; витримка 1,5 години; гартування в маслі при 40...60°С; 3...4 годинний відпуск при 400°С; охолодження на повітрі. Визначили механічні властивості деталей після термообробки за вказаними параметрами: $\sigma_{0,2} = 1300$ МПа, $\sigma_b = 1430$ МПа, $\delta = 16$ %, $\psi = 49$ %, $KCV = 30$ МДж.

4 ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА

4.1 Актуальність теми з позиції маркетингу

Дослідження впливу хімічного складу на експлуатаційні показники магнітом'яких матеріалів для виготовлення електричних машин вкрай важливе для покращення їхньої якості та ефективності в різноманітних сферах, зокрема у сегменті маркетингу.

Актуальність теми з позиції маркетингу проглядає через кілька ключових аспектів:

Створення високоякісних продуктів: Дослідження впливу хімічного складу на магнітом'які матеріали дозволяє покращити їхні експлуатаційні показники, створюючи можливість для виготовлення високоякісних електромашин, які можуть здобути значний попит на ринку завдяки своїм покращеним характеристикам.

Інновації в галузі виробництва: Отримання нових даних про вплив хімічного складу на матеріали вирізняє нові можливості в галузі виробництва електричних машин, створюючи потенціал для розробки та випуску інноваційних продуктів з покращеними характеристиками.

Конкурентні переваги: Розуміння впливу хімічного складу на магнітом'які матеріали дозволяє компаніям створювати продукцію з унікальними експлуатаційними властивостями, що може стати ключовим фактором конкурентоспроможності на ринку.

Розширення цільової аудиторії: Покращення експлуатаційних показників матеріалів через вплив на їх хімічний склад може сприяти приверненню нових клієнтів, які шукають продукцію з покращеними характеристиками для своїх потреб.

Таким чином, дослідження впливу хімічного складу на магнітом'які матеріали для виготовлення електричних машин не тільки спрямоване на

покращення їхніх експлуатаційних характеристик, а й має значний потенціал у сфері маркетингу, відкриваючи нові можливості для розвитку та випуску продукції, яка відповідає вимогам ринку та споживачів.

4.2 Послідовний аналіз

Виконаний аналіз напрямків застосування та вигоди для споживачів (табл. 4.1). Надано цілісне уявлення про зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів

Таблиця 4.1 – Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
1	2	3
Використання спеціальної технології, яка застосовується для зміни властивостей магнітом`яких матеріалів.	Виробництво магнітів та магнітних систем	Магнітом`які матеріали використовуються для виготовлення постійних магнітів, що застосовуються у різноманітних пристроях, від електродвигунів до акумуляторів та електронних пристроїв.
	Електроніка та комп'ютерна техніка	Використовуються для створення компонентів електроніки, наприклад, у трансформаторах, індуктивностях, магнітних датчиках, які застосовуються в комп'ютерах, смартфонах та інших пристроях.

Продовження таблиці 4.1

	Медицина	У медичній сфері магнітом'які матеріали використовуються для створення магнітних резонансних томографів (МРТ), магнітних резонансних апаратів (МРА), які використовуються для діагностики та обстеження пацієнтів.
	Виробництво магнітних матеріалів для військової та оборонної техніки	Магнітні матеріали використовуються у виробництві обладнання для оборонних цілей, таких як детектори металу, навігаційні системи, різні типи сенсорів та інше обладнання.

Виконаний аналіз характеристики потенційного ринку (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Попередня характеристика потенційного ринку

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Головні конкуренти	1 Підприємства для виготовлення сталей спеціального призначення України 2 Підприємства для виготовлення сталей спеціального призначення України
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Потрібні великі інвестиції
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	1 Сертифікація обладнання 2 ДСТУ

Вивчені та визначені потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформований орієнтований перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.3).

Таблиця 5.3 – Попередня характеристика потенційних клієнтів

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів (користувачів)
Електротехнічні сталі	Металургійні України та Європи	Електричні трансформатори	Надійність, ресурс

Виконаний аналіз SWOT- аналіз середовища реалізації інноваційного проект. Результати аналізу приведені в табл. 5.4.

Таблиця 4.4 – SWOT- аналіз

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
– відомий бренд – кваліфікований персонал – помірна цінова політика – клієнтська база	– текучість кадрів – спосібність до інновацій – повільний ріст прибутку – консерватизм системи управління
Можливості:	Загрози:
– розвиток дилерської мережі – вихід на інші ринки – випуск нових марок сталей – відхід конкурентів з ринку	– поява нових конкурентів – зростання цін на сировину – цінова конкуренція – непомірна ціна нових технологій

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
Придбання нових зразків	Зацікавлені у підвищеному ресурсі	10.000	Конкуренція зростає	Пов'язана з великими інвестиціями
Ремонт раніше придбаного	Зацікавлені у вдосконаленні матеріалів	100.000	Монополісти	Пов'язана з великими інвестиціями

Була проведена ідентифікація основних учасників проекту, їхні ролі та зацікавленість у реалізації інноваційного проекту. Після цього вони були ранжировані за ступенем впливу та важливості для успішної реалізації проекту. На основі цього була побудована Карта стейкхолдерів, яка відображає зв'язки та взаємодії між усіма учасниками. Ця карта визначає три основні області, де розташовані всі стейкхолдери відповідно до їхнього впливу та важливості для ініціатора проекту. Внутрішні стейкхолдери знаходяться у прямій залежності від ініціатора, що дозволяє ефективно використовувати методи управління проектом та спрощує процес взаємодії з цими учасниками. (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Карта стейкхолдерів

Визначили витрати на оплату праці з урахуванням балансу робочого часу одного працівника. Витрати за цією статтею складаються із планового фонду зарплати усіх категорій працівників, які задіяні у проведенні досліджень (табл. 4.6).

Таблиця 4.6 – Склад, чисельність та фонд заробітної плати

Посада	Кількість осіб	Посадовий оклад, грн	Преміальний відсоток до окладу, %	Сума премій, грн	Місячна заробітна плата	Річний фонд оплати праці, грн	ЄСВ, грн
1	2	3	4	5	6	7	8
Науковий керівник	1	15000	20	3000	18000	216000	47520

Продовження таблиці 4.6

1	2	3	4	5	6	7	8
Старший науковий співробітник	2	11500	20	2300	13800	165600	36432
Лаборант	3	10000	20	2000	12000	144000	31680
Разом	6	36500	-	7300	43800	525600	115632

Стаття охоплює процес розрахунку вартості матеріалів, що включають витрати на придбання основних компонентів для проведення досліджень, а також на створення макетів та дослідних зразків.

Коли науково-технічні розробки впроваджуються в промисловість, особливо у випадках, коли власником є права на інтелектуальну власність, ключовою є чітка визначена мета. Ця мета може визначати подальші стратегії використання або інвестування комерційного успіху. Це охоплює потребу у фінансуванні для продовження наукових досліджень та розробок - зокрема для придбання обладнання, спеціальних матеріалів чи фінансування подальших відкриттів. Також, ціль може полягати у вигляді одноразового отримання фінансових ресурсів для будь-яких цілей або для поповнення фінансових резервів. Крім того, мета може включати стабілізацію постійного потоку фінансових коштів або їх оптимізацію з метою підвищення ефективності використання.

Доцільність визначення чіткої мети використання науково-технічних розробок у промисловості або комерційній сфері визначається потребами і можливостями конкретної організації або власника розробки. Наприклад, залучення фінансування для подальшого розвитку досліджень, придбання обладнання чи матеріалів, може бути критичним для наукового продовження робіт та досягнення нових технологічних досягнень.

Таблиця 4.7 – Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати	Виробнича програма	Обсяг сировини	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
1	2	3	4	5
Папір	—	10 блоків	120	1200
Ручка	—	100 одиниць	15	1500
Олівець	—	100 одиниць	10	1000
Зразки	30	30 одиниць	450	13500
Реактиви	—	5 одиниць	900	4500
Змінні лінзи	—	10 одиниць	3200	32000
Тара зразків	—	30 одиниць	50	1500
Разом				55200

Розрахунок вартості матеріалів. До цієї статті належать витрати на електропостачання, водопостачання тощо (табл 4.8).

Таблиця 4.8 – Розрахунок вартості спожитих послуг

Вид послуг	Виробнича програма	Обсяг послуг	Тарифи	Сума, грн
Електропостачання	—	500 кВт	2,64 грн/ кВт	1320
Водопостачання	—	5 м ³	25 грн/м ³	125
Теплопостачання	—	3,42 Гкал	1380 грн/Гкал	4720
Разом				6165

Визначили річну суму амортизації з урахуванням первісної вартості основних засобів та норми амортизації при терміні експлуатації у 5 років (табл. 4.9).

Таблиця 4.9 – Розрахунок амортизації

Група основних засобів	Кількість	Первісна вартість ОЗ	Вартість обладнання	Річні амортизаційні відрахування	Витрати на поточний ремонт у розмірі 2%
Металографічний мікроскоп	2	500000	1000000	200000	20000
Прилад для вимірювання магнітних характеристик	1	1500000	1500000	300000	30000
Комп'ютер	4	25000	100000	20000	400
Принтер	2	15000	30000	6000	120
Разом		1590000	1713000	346000	50520

Відображаємо кошторис витрат на основі даних, вказаних в табл. 5.6-5.9. В табл. 4.10 наведено кошторис витрат на проведення науково-дослідницьких робіт.

Таблиця 4.10 – Кошторис витрат

Калькуляційні статті	Витрати, грн
Фонд заробітної плати, рік	525600
ЄСВ, рік	199584
Матеріальні витрати, рік	55200
Вартість спожитих послуг, рік	6165
Амортизація обладнання, рік	346000
Поточний ремонт, рік	50520
Виробнича собівартість	232320
Адміністративні витрати 50%	453600
Повна собівартість	1558489

Розрахуємо вартість виробництва сировини таблиця 4.11

Таблиця 4.11 - Сировинні витрати

Матеріальні витрати	Норматив у розрахунку на один. Продукт, %	Обсяг сировини, кг	Ціна, грн/кг	Сума грн
Fe	83,71	10000	48	48000
C	4,16	500	7.2	3600
Si	3,3	360	300	108000
Разом	100	11560	-	232320

Таким чином, загальні сировинні витрати на 100000 магнітів , що становлять річну програму випуску, складають 2200000 грн, тобто 22 гривень копійки на кожен зразок.

Амортизація, яку можна віднести на виробництво електротехнічної сталі відповідно становить 346000 грн, або 34,6 грн на одну деталь.

Визначаємо повну собівартість одиниці продукції.

Витрати на утримання та експлуатацію основних засобів (поточний ремонт) приймаємо за 0,2% від фактичної вартості

Таким чином повна собівартість деталей 294,68 грн.

Очікувана ціна деталей складає 325 грн/шт.

Умовно спростимо інфляційні очікування та реальну зміну вартості сировини та послуг.

Визначаємо очікуваний дохід та фінансовий результат.

Таким чином, очікуваний дохід від реалізації магнітотвердих матеріалів становить 5850000 гривень. Очікуваний фінансовий результат становить 545760 гривень.

Таким чином при виконанні плану з виробництва чистий прибуток складатиме в розмірі 545760 гривень.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Основні заходи з забезпечення безпеки праці під час вивчення впливу хімічного складу на експлуатаційні характеристики магнітних матеріалів для створення електричних машин.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Будь-яка небезпека реалізується завдаючи шкоди завдяки якоїсь причини або кількох причин. Без причин немає реальних небезпек. Отже, запобігання небезпек або захист від них базується на знанні причин їх виникнення. Між реалізованими небезпеками і причинами їх виникнення існує причинно-наслідковий зв'язок, небезпека – це наслідок якоїсь причини, яка, в свою чергу є наслідком іншої причини. При дослідженні можуть виникати такі небезпеки:

- небезпеки, які пов'язані із порушеннями роботодавцями вимог НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» [24];

- можливість ураження електричним струмом внаслідок невиконання правил з електробезпеки, несправності обладнання, відсутності заземлення, що може призвести до електричних травм або летального наслідку;

- незадовільна організація робочого місця дослідника відносно вимог ергономіки, що може призвести до зниження працездатності;

- небезпеки, пов'язані з дослідженнями структури за допомогою електронної мікроскопії зокрема: негативний вплив потужного електронного

випромінювання на клітинному рівні, що може призвести до зниження імунітету та розвитку імунних захворювань;

- незадовільні параметри повітряного середовища в робочій зоні через неефективну роботу системи кондиціонування, що може призвести до загальних захворювань органів дихання та появи алергічних реакцій;

- небезпеки які пов'язані з дослідженням фазового складу структури металу з використанням рентгеноструктурного аналізу на дифрактометрах типу ДРОН зокрема: негативний вплив іонізуючого випромінювання при порушенні методики досліджень або відсутності екрануючих пристроїв, нехтування захистом відстанню та часом, що може призвести до зниження імунітету та розвитку імунних захворювань;

- небезпеки, пов'язані з використанням ПК при проведенні дослідження;

- недостатній рівень освітлення приміщення дослідної лабораторії, внаслідок неефективності системи загального і штучного освітлення;

- можливість загорання внаслідок порушення правил безпеки чи виходу з ладу обладнання може призвести до пожежі;

- небезпеки, пов'язані з умовами праці, зокрема в умовах надзвичайних ситуацій відсутність організації дій.

5.2 Заходи по забезпеченню безпеки

Будь які заходи розробляються тільки на підставі вимог нормативних актів з охорони праці, посилення на які є обов'язковим. Попереджувальні заходи захисту мають бути комплексними, але обов'язковими є заходи організаційного та технічного спрямування.

Згідно вимог НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимог стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» передбачено:

– усі працівники повинні пройти навчання та перевірку знань з питань охорони праці відповідно до «Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці», затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці (Держпраці) від 26.01.2005 №15.

Роботодавець повинен забезпечити повну і вичерпну інформацію працівників з питань охорони праці як відносно підприємства в цілому так і відносно специфіки виконуваних робіт на робочих місцях, де зазначені можливі небезпечні ситуації та заходи для їх запобігання. Найбільш ефективним є проведення відповідних інструктажів (вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий).

Вимоги до облаштування робочих зон передбачають справний робочий стан устаткування і захисних пристроїв, сприяння безпечних умов для усунення виявлених несправностей, які можуть негативно вплинути на безпеку і здоров'я працівників, можливість регулярного контролю і перевірок здатності функціонування захисних засобів і пристроїв, призначених для запобігання небезпеці або їх усунення.

Шляхи пересування в робочій зоні включаючи сходи, стаціонарні переходи, аварійні виходи повинні бути позначенні відповідними знаками, мати дороговкази, бути розташовані і мати такі розміри, щоб прохід або проїзд був легким і безпечним. Наприклад: підлоги приміщень не повинні мати нерівностей, отворів або небезпечних ухилів, двері аварійних виходів повинні відкриватись назовні і замикатись, так щоб у випадку необхідності будь-яка особа могла легко і швидко їх відкрити без застосування додаткових засобів, захищеність робочих зон, шляхів пересування, аварійних виходів категорично забороняється.

Виробниче приміщення повинні мати достатню площу і висоту для раціонального планування відповідно до СНиП 2.09.04-87 «Административные и бытовые здания» та СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания» [25].

Для виключення можливості ураження електричним струмом згідно з ПУЕ-2017 «Правила устройства электроустановок» передбачається [26]:

- всі співробітники лабораторії повинні пройти навчання та перевірку знань з електробезпеки та у відповідності з НПАОП.0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» отримати 2-3 групу з електробезпеки. Періодично один раз на рік необхідно перевіряти опір заземлення, який не повинен перевищувати 4 Ом. Якість заземлення перевіряється щорічно з оформленням акту відповідно нормативних вимог ГОСТ 12.1.019-79 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»;

- періодично, не рідше ніж два рази на рік, передбачається перевіряти справність контактів електроз'єднань, штепсельних вилок з'єднувальних провідників. В тому випадку, якщо при дотику до не струмопровідних частин електроприводу відчувається електричний струм, передбачається вимикання приладу від електромережі. Ремонт електричного обладнання проводять особи, котрі мають кваліфікаційну групу (не менше III групи) з електробезпеки;

- усі ремонтні роботи на мікроскопі проводять тільки після повного відключення від електричної мережі. При зміні катоду після розкриття електронної гармати перед тим, як доторкнутися рукою до фокусуючого електроду, треба зняти заряд з катодного вутла шляхом його заземлення;

- усі ремонтно-монтажні роботи або огляд високовольтних частин мікроскопу проводити не менш, ніж двома особами.

Для захисту людей від ураження електричним струмом передбачено використовувати подвійну ізоляцію провідників.

Організація робочого місця передбачає: Конструкція робочого місця, його розміри та взаємне розташування його елементів повинні відповідати антропометричним, фізіологічним і психофізіологічним характеристикам людини, а також робоче місце забезпечує зручне положення людини. Це

досягається регулюванням положення крісла, висоти кута нахилу підставки для ніг за умови її використання, або висоти розмірів робочої поверхні.

Повинне забезпечуватись виконання трудових операцій в зонах моторного поля (оптимальної досяжності, легкої досяжності) в залежності від необхідної точності і частоти дій.

Організація робочих місць повинна забезпечувати стійке положення та вільність рухів працівника, безпеку виконання трудових операцій виключати або допускати лише в деяких випадках роботу в незручну позиціях, які зумовлюють підвищену втомлюваність. Розташовуючи столи у робочому приміщенні дослідника, слід виходити із цілей підвищення продуктивності праці при мінімумі витрат енергії. Одночасно беруть до уваги фізіологогігієнічні фактори і об'єм, площу, напрям денного світла і штучного освітлення, що падає на стіл. На робочому місці не повинно бути нічого зайвого. Оскільки погляд працюючого здебільшого спрямований на лівий бік стола, то на ньому розміщують ще не виконанні документи, праворуч-виконані. Всі необхідні для роботи предмети повинні знаходитись поряд з працівником, але не заважати йому.

Ті предмети, якими користуються частіше, розташовуються ближче, ніж ті предмети, котрими користуються рідше. Предмети, котрі беруть лівою рукою, повинні знаходитись зліва, а ті предмети, котрі беруть правою рукою, повинні знаходитись справа. Якщо використовують обидві руки, то місце розташування пристосувань вибирається з врахуванням зручності захоплення його двома руками; Небезпечніше, з точки зору можливості травмування працівника обладнанням повинне розташовуватись вище, ніж менш небезпечні. Проте слід враховувати, що важкі предмети під час роботи зручніше і легше опускати, ніж піднімати.

Для електронного мікроскопа можливі три варіанти аварійної ситуації:

- відключення електроживлення;
- відключення води;
- 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.

Необхідно 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 високовольного введення. Тому найкраще буде якомога швидше усунути протікання.

Електронний мікроскоп, має потужне джерело іонізуючих випромінювань, що як наслідок негативно впливає на організм людини при зовнішньому опромінюванні. 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 тощо); кількості ізотопу (активності); його властивостей (енергії частинок в період

піврозпаду тощо); шляхів попадання в організм людини та його індивідуальної чутливості. Для захисту від зовнішнього опромінювання, яке має місце при роботі із закритими джерелам 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).

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Для забезпечення нормально метеорологічних умов праці передбачена вентиляція що являє собою систему технічних засобів, що забезпечує регулярний повітрообмін в приміщенні. Вона призначена для видалення з приміщення надлишкового тепла, вологи, шкідливих газів і парів та створення найбільш сприятливого (що відповідає санітарно-гігієнічним вимогам) мікроклімату та іонного складу (згідно ГОСТ 12.1.005-88 [27]).

Поєднання природної і штучної вентиляції утворює змішану систему вентиляції саме таку слід використовувати у лабораторних приміщеннях.

Природна вентиляція може бути неорганізованою, коли повітря подається в приміщення і віддаляється з нього за рахунок інфільтрацій через несутільності і пори зовнішніх огорожень. Природна вентиляція вважається організованою, якщо вона має пристрої, що дозволяють регулювати напрямок задушливих потоків і величину повітрообміну (витяжні канали, шахти, квартирки і фрамуги будівель, аераційні ліхтарі та тощо).

У приміщенні лабораторії встановлюється кондиціонер для необхідного кондиціонування повітря, а також у приміщенні повинні бути вікна у яких

повинні бути частини що відчиняють для природної аерації. (ГОСТ 30646-99 Кондиціонери центральні загального призначення [28]).

Режим праці й відпочинку передбачає дотримання певної тривалості безперервної роботи на ПК і перерв, регламентованих з урахуванням тривалості робочої зміни, видів і категорії трудової діяльності.

За характером трудової діяльності виділено три професійні групи, згідно з діючим класифікатором професій (ДК-003-95 і зміна N I до ДК-003- 95): група А – робота зі зчитування інформації з екрана з попереднім запитом; група Б – робота з введення інформації; група В – творча робота в режимі діалогу із ПК.

Категорії тяжкості й напруженості роботи на ПК визначаються рівнем навантаження за робочу зміну: для групи А – по сумарному числу знаків, що зчитуються; для групи Б по сумарному числу знаків, що зчитуються, або знаків, що вводяться; для групи В – за сумарним часом безпосередньої роботи на ПК. У таблиці наведені категорії тяжкості й напруженості робіт залежно від рівня навантаження за робочу зміну. При 8 - годинній робочій зміні й роботі на ПК регламентовані перерви варто встановлювати:

- для першої категорії робіт – через 2 години від початку зміни й через 2 години після обідньої перерви тривалістю 15 хвилин кожна;
- для другої категорії робіт – через 2 години від початку робочої зміни й через 1,5-2,0 години після обідньої перерви тривалістю 15 хвилин кожна або тривалістю 10 хвилин через кожну годину роботи;
- для третьої категорії робіт – через 1,5...2,0 години від початку робочої зміни й через 1,5...2,0 години після обідньої перерви тривалістю 20 хвилин кожна або тривалістю 15 хвилин через кожну годину роботи.

При 12-годинній робочій зміні регламентовані перерви повинні встановлюватися в перші 8 годин роботи аналогічно перервам при 8 годинній робочій зміні, а протягом останніх 4-х годин роботи, незалежно від категорії й виду робіт, щогодини тривалістю 15 хвилин.

Тривалість безперервної роботи на ПК без регламентованої перерви не повині перевищувати 2-х годин.

Ефективними є нерегламентовані перерви (мікропаузи) тривалістю 1-3 хвилини. Регламентовані перерви й мікропаузи доцільно використовувати для виконання комплексу вправ і гімнастики для очей, пальців рук, а також масажу, які наведені у Державних санітарних правилах і нормах роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПІН 3.3.2.007-98.

Користувачам ПК, що виконують роботу з високим рівнем напруженості, показане психологічне розвантаження під час регламентованих перерв і наприкінці робочого дня в спеціально обладнаних приміщеннях (кімнатах психологічного розвантаження).

Всі професійні користувачі ПК повинні проходити обов'язкові попередні медичні огляди при надходженні на роботу, періодичні огляди з обов'язковою участю терапевта, невропатолога й окуліста, а також проведенням загального аналізу крові й ЕКГ.

Для забезпечення задовільних параметрів повітряного середовища необхідно використовувати природну вентиляцію, загальну штучну та систему водяного опалення згідно ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические нормы к воздуху рабочей зоны», ГОСТ 2.2.137-96 «Оборудование для кондиционирования воздуха и вентиляции. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.4.021-75 «ССБТ. Системы вентиляционные. Общие требования». СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [29].

Виробниче освітлення організується і нормується згідно вимог ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення», залежно від:

- розряду зорової роботи, тобто її характеристики (найменшого
- розміру об'єкта який різниться, світлості фону, контрасту об'єкта з фоном).

5.4 Заходи безпеки надзвичайних ситуацій

Підрозділ «Заходи з пожежної безпеки» розробляється відповідно до вимог НАПБ.А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». Розгляд підрозділу слід почати з аналізу речовин і матеріалів, що використовуються при роботі об'єкта, і метою визначення категорії його пожежної небезпеки, 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». Тобто вказати до якої категорії виробництва з пожежної небезпеки належить об'єкт (цех, дільниця, підстанція) що розглядається (проектується, модернізується). Відповідно до категорії виробництва з пожежної небезпеки і вимог ДБН В.1.1 - 7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва». Загальні вимоги, указати ступінь вогнестійкості приміщення об'єкта (цеху, дільниці, підстанції). Показати наявність засобів виявлення загорянь і пожеж згідно вимог ДБН В 2.5 - 56:2014 «Системи протипожежного захисту». З огляду на пожежну небезпеку, передбачити первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники різних видів), відповідно до вимог ДСТУ 4297:2004 «Пожежна техніка. Технічне обслуговування вогнегасників. Загальні технічні вимоги», розділ «Типові норми належності вогнегасників». Виробничі приміщення можуть бути обладнані стаціонарними установками автоматичного пожежогасіння.

Комплекс протипожежних заходів для приміщення (лабораторії, офісу) обладнаного ПК з ВДТ розроблений згідно вимог НАПБ А. 01.001 - 2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». Виходячи з аналізу речовин та матеріалів які використовуються при роботі у приміщенні відповідно до вимог ДСТУ Б В. 1.1-36.2016 «Визначення категорій приміщень будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» приміщення (офіс) обладнане ВДТ належить до виробництв категорії «Д» з

пожежної небезпеки – простір у приміщенні у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали.

Оскільки приміщення (лабораторія, офіс) обладнане ПК і ВДТ належить до виробництва категорії «Д» з пожежної небезпеки, тому згідно вимог ДБН В 1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» вона має ступінь вогнестійкості.

З технічних та організаційних заходів запобігання пожеж в приміщенні (лабораторії, офісу) обладнаному ПК з ВДТ передбачені наступні протипожежні заходи. На силовому обладнанні, силових та освітлювальних колах, згідно вимог пункту 3.1 «ПУЕ» встановлені захисні пристрої, що вимикають джерело живлення від ділянки електричного кола, у якій виникло коротке замикання.

Згідно вимог ДБН В 2.5-56.2014 «Системи протипожежного захисту» в приміщенні (лабораторії, офісі) 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 що обладнане ПК з ВДТ має площу 39м², тому відповідно до вимог п 3.8 розділу «Типові норми належності вогнегасників» ДСТУ 4297:2004 «Пожежна техніка. Технічне обслуговування вогнегасників.

Загальні технічні вимоги» для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, передбачені вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-3,5 у кількості 2 штук (з розрахунку один вогнегасник з величиною заряду вогнегасної речовини 3кг і більше на 20м² площі приміщення). Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 10м.

Керівники об'єктів повинні передбачити управління надзвичайними ситуаціями. Для задачі забезпечення безпеки людини в НС стратегія управління повинна включати здійснення трьох цілей:

- запобігання причин виникнення;
- запобігання найекстремальніших ситуацій;

- пом'якшення, максимальне послаблення наслідків надзвичайних ситуацій.

Перший варіант запобігання причин виникнення надзвичайних ситуацій розроблена, щоб не допускати таких дій або процесів, які несуть загрозу населенню. Дана стратегія виконується або відмовою від будівництва небезпечних об'єктів, або знищенням чи перепрофілюванням виробництв - джерел підвищеної небезпеки.

Другий варіант, запобігання самої НС – спрямований, щоб не допустити, виходу небезпечного процесу з-під контролю шляхом використання надійних аварійних систем, сигналізації, автоматики та інших заходів з підвищення надійності і стійкості роботи підприємств, а також шляхом заходів евакуації.

Третя стратегія - пом'якшення наслідків - орієнтується на ослаблення локалізацію наслідків НС. Цей варіант має першочергове значення в управлінні стихійними лихами і ситуаціями «комбінованого» типу.

Найбільший ефект дає керування разом усього трьох варіантами, особливо при аваріях техногенного характеру для реалізації кожної із стратегій управління необхідно розробляти і приймати комплекс превентивних та оперативних заходів.

Превентивні:

- аналізування і виявлення причин, що ведуть до катастрофи;
- прогнозування вогнищ ураження, втрат і збитків на підприємстві;
- заходи з підвищення стійкості;
- обґрунтування сил і засобів для проведення дій з локалізації вогнищ ураження та пошуково-рятувальних робіт;
- навчання робітників способам захисту;
- підготовка надійного КП управління.

Оперативні:

- оповіщення про НС;
- проведення всіх видів дослідження та оцінки обстановки;
- проведення першочергових захисних заходів (укриття в ЗС. евакуація.

- використання сил постійної готовності для локалізації катастрофи;
- надання першої медичної та першої лікарняної допомоги;
- нарощування сил і засобів в ОП за рахунок залучення формувань підвищеної готовності;
- якнайшвидше постачання постраждалих продовольством та іншими життєво необхідними засобами;
- введення аварійно-відновлювальних заходів.

При виникненні НС організовується надзвичайне управління, яке складається з декількох стадій ліквідації наслідків:

– стадія прийняття екстрених заходів. Ціль - включити механізм управління і вчасно зреагувати на НС. Основна мета початкової стадії - встановлення факту НС, попередня оцінка обстановки в зоні лиха і масштабів наслідків, мобілізація і встановлення оперативних завдань органам надзвичайного управління, віддача розпоряджень на залучення служб для допомоги постраждалим, сприяння місцевим органам управління в організації рятувальних робіт і локалізації зони лиха власними силами; інформування населення та вищих органів управління про НС та вжиті заходи. Тривалість початкової стадії - 1-10 годин;

– стадія оволодіння ситуацією та організації управління в зоні лиха, складається у плануванні та організації рятувальної операції. Задача: якнайкраще у всіх деталях дослідити обстановку, першочергово прийняти обґрунтоване рішення і скласти план ліквідації наслідків НС; підрахувати сили і засоби, ресурси для всього комплексу заходів в зоні лиха, організувати чітку взаємодію всіх залучених сил і аварійних служб. Тривалість другої стадії - від декількох годин до кількох діб;

– основна і визначальна стадія. Мета - змінити надзвичайний характер ситуації: відновити безпеку населення в зоні лиха, прибрати загрозу життю і здоров'ю всім постраждалим, створити мінімальні умови для життєдіяльності населення, що залишилося. Завдання: організувати в найкоротші строки рятувальних робіт на всіх постраждалих об'єктах зони лиха, надання допомоги

потерпілим для захисту їх життя, здоров'я і підтримання життєздатності в екстремальних умовах; евакуація постраждалих із зони лиха та їх життєзабезпечення; терміновому проведенні аварійно-відновлювальних робіт на системах тепло-, водо-, газо-, електросистемах і зв'язку в зоні лиха.

Тривалість - кілька діб - кілька тижнів;

— стадія відновлення, тобто економічне, соціальне, культурне та екологічне відновлення зони лиха. Органи надзвичайного управління передають функції постійної дії місцевим органам управління. Розробляється програма з черговістю комплексу дій з реабілітації постраждалої зони.

ВИСНОВКИ

Розглянуто особливості експлуатації магнітом'яких матеріалів та сформовані основні вимоги до їх властивостей. Зазначено, що основним легувальним елементом є кремній. Встановлено вплив кремнію на магнітні властивості електротехнічних сталей. Також розглянуто вплив термічної обробки на механічні властивості.

Проведено дилатометричні дослідження сталі; визначено критичні точки при нагріванні: $A_{c1} = 730 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $A_{c3} = 875 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$; побудовано термодіаграму перетворення аустеніту при переохолодженні від $925 \text{ }^{\circ}\text{C}$ зі швидкістю $0,025,025 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Визначено залежність твердості від температури і тривалості витримки. Відпуск при $200 - 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$ не призводить до розпущення досліджуваної сталі, а при $400 \text{ }^{\circ}\text{C}$ знижує її твердість HRC 42 – 44.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Конспект лекцій з дисципліни Електротехнічні матеріали , для спеціальності «Метрологія та інформаційно-вимірювальні технології» / Укладач Дон Н.Л// Херсонський національний технічний університет. – 2009 – 120с.
2. Богородицкий, Н. П. Электротехнические материалы/ Н. П. Богородицкий, В. В. Пасынков, Б. М. Тареев // Л.: Изд-во «Лань», 2001. – 368 с.
3. Електротехнічні та конструкційні матеріали: курс лекцій / уклад. С. В. Шенгур // К.: НАУ, 2015. – 176 с.
4. Бабак, В. П. Конструкційні та функціональні матеріали. Навчальний посібник: ч. 1 / В. П. Бабак, Д. Ф. Байса, В. М. Різак, С. Ф. Філоненко // К.: «Техніка», 2003. – 344 с.
5. Бабак, В. П. Конструкційні та функціональні матеріали. Навчальний посібник: ч. 2 / В. П. Бабак, Д. Ф. Байса, В. М. Різак, С. Ф. Філоненко // К.: «Техніка», 2004. – 344 с.
6. Сологуб М.А. Конструкційні метали і сплави: Корот. довід. / М.А Сологуб // К.: НУХТ, 2010.- 51 с.
7. Однодворець Л. В. Матеріали і компоненти функціональної електроніки: навчальний посібник / Л. В. Однодворець, І. М. Пазуха // Суми : Сумський державний університет, 2020. – 196 с
8. High-entropy film alloys: electrophysical and magnetoresistivity properties / Yu. Bereznyak, L. Odnodvoretz, D. Poduremne, I. Protsenko, Yu Shabel'nyk // Chapter 2 in Springer Book «Nanooptics, Nanophotonics, Nanostructures, and Their Applications» – Springer Proceedings in Physics 210. – P. 17–34
9. Болюх В. Ф. Основи електроніки і мікропроцесорної техніки : навч. посіб. / В. Ф. Болюх, В. Г. Данько // Харків : НТУ «ХП», 2011. – 257 с.

10. Бовсуновський, А. П. Електротехнічні матеріали: Корот. довідник / А. П. Бовсуновський // К.: НУХТ, 2012. – 36 с.
11. Швець Є. Я. Матеріали і компоненти електроніки : навч. посіб. / Є. Я. Швець, І. Ф. Червоний, Ю. В. Головка // Запоріжжя : ЗДІА, 2011. – 278 с.
12. Електротехнічні матеріали: Курс лекцій. Частина 1. Діелектричні матеріали [Електронний ресурс]: навч. посіб. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. М. Кириленко, К. В. Кириленко, В. М. Головка // Електронні текстові дані Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 224 с.
13. Поплавко Ю.М. Фізичне матеріалознавство / Ю.М Поплавко, Л.П Переверзева, С.О. Воронов, Ю.І. Якименко // К.: НТУУ «КПІ», 2007. –392 с
14. Колесов С. Н. Электротехнические и конструкционные материалы. : підручник/С. Н. Колесов, И. С. Колесов // Київ : Транспорт Украины, 2002. – 384 с.
15. Драгошанский Ю. Н. Комплексные термоманитная и лазерная обработки электротехнических материалов / Ю.Н Драгошанский, В.И Пудов, В.В Губернаторов // Физика металлов и металловедение. 2011, 111(5), С. 486 - 492.
16. Khotinov V. A. Farber. Structure and mechanical properties of medium-carbon steels after heating in the intercritical temperature range / V. A. Khotinov, S. V. Oshchukov, V. M. Farber // Metal Science and Heat Treatment. Vol.53 – 2012. P. 545-549.
17. Panov D. O. A study of phase and structural transformations of hardened low-carbon steel under conditions of multiple intense heat effect / D. O. Panov, Yu. N. Simonov, P. A. Leont'ev // Metal Science and Heat Treatment. 2013. Vol. 54. 11 – 12. P. 582 – 586.
18. Wang Y. Development of microstructure and texture in strip casting grain oriented silicon steel / Y. Wang, Y. B. Xu, Y. X. Zhang, F. Fang, X. Lu, H. T. Liu, G. D. Wang, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 379, P.161-166.

19. Zhang Y. Microstructure, texture and magnetic properties of strip-cast 1.3% Si non-oriented electrical steels / Y. Zhang, Y. Xu, H. Liu, C. Li, G. Cao, Z. Liu, G. Wang // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. Vol. 324(20). 2012 P.3328-3333.

20. PremKumar R. Relative effect (s) of texture and grain size on magnetic properties in a low silicon non-grain oriented electrical steel / R. PremKumar, I. Samajdar, , N. N. Viswanathan, V. Singal, V. Seshadri // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. Vol. 264(1) 2003. P.75-85.

21. da Costa Paolinelli. The influence of shear bands on final structure and magnetic properties of 3% Si non-oriented silicon steel / da Costa Paolinelli, S., da Cunha, M. A., Cota, A. B. // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. Vol. 320(20), 2008. P. 641-644.

22. Park J. T., Szpunar J. A. Evolution of recrystallization texture in nonoriented electrical steels / J. T. Park, J. A. Szpunar // Acta Materialia, Vol. 51(11), 2003. P. 3037-3051.

23. Dorner D. Overview of microstructure and microtexture development in grain-oriented silicon steel / D. Dorner, S. Zaefferer, L. Lahn, D // Raabe, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 304(2), 2006. P. 183-186.

24. НПАОП 0.00-7.11-12. Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників. [На заміну наказу МНС України від 26.12.2011 № 1350 ; чинний від 2012-03-16]. К. : МНС України, 2012. 37 с. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0226-12#n16>

25. СНиП 2.09.02-85*. Производственные здания. Зі змінами. [На заміну СНиП II-90-81 ; СНиП II-М.2-62 ; СН 317-65 ; СН 353-66 ; чинний від 1987-01-01]. К. : Госстрой СССР, 1988.

26. НПАОП 28.0-1.30-12. Правила охорони праці під час роботи з абразивним інструментом. [На заміну НПАОП 28.52-1.22-64 ; чинний від 2012-11- 26]. К. : МНС України, 2012.

27. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Чинний від 1999-12-01]. К. : МОЗ України, 1999. 106 с. URL : <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>.

28. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01]. К. : Мінрегіон України, 2018. 133 с. URL : https://ledeffect.com.ua/images/___branding/dbn2018.pdf.

29. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні. [На заміну НАПБ А.01.001-04 ; чинний від 2014-12-30]. К. : МВС України, 2014. 91 с. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#n14>.