МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М.ПОТЕБНІ

Металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
(повна назва кафедри)

До захисту
01.12.23

Кваліфікаційна робота / проєкт

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

на тему Розробка технології виплавки сплаву ЮНДК

Виконав: студент II курсу, групи 8.1362-мчм
спеціальності 136 Металургія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Металургія чорних металів
(код і назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
Р. С. Кузьменко
(ініціали та прізвище)

Керівник доц., к.т.н., доц. Кириченко О. Г.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент зав.каф., д.т.н., проф. Бєлоконь Ю.О.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра Металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 136 Металургія
(код та назва)

Освітня програма Металургія чорних металів
(код та назва)

Спеціалізація
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
«07» 05 2023 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЄКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Кузьменку Роману Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Розробка технології виплавки сплаву ЮНДК

керівник роботи Кириченко Олексій Геннадійович, к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «09» жовтня 2023 року № 1580-с

2 Строк подання студентом роботи 10.12.2023

3 Вихідні дані до роботи Дослідити технологічні можливості отримання магнітного сплаву типу ЮНДК

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Реферат; вступ; загальні положення та класифікація магнітних матеріалів; обгрунтування вибору плавильного агрегату; дослідження особливостей технології отримання сплавів ЮНДК; Охорона праці та техногенна безпека; Висновки; Перелік джерел посилання; Додаток А

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

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Загальні положення та класифікація магнітних матеріалів	Кириченко О.Г., доцент		
Обгрунтування вибору плавильного агрегату	Кириченко О.Г., доцент		
Дослідження особливостей технології отримання сплавів ЮНДК	Кириченко О.Г., доцент		
Охорона праці та техногенна безпека	Кириченко О.Г., доцент		

7 Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ, реферат	21.11-25.11.2023	
2	Загальні положення та класифікація магнітних матеріалів	26.11-30.11.2023	
3	Обгрунтування вибору плавильного агрегату	01.12-04.12.2023	
4	Дослідження особливостей технології отримання сплавів ЮНДК	05.12-08.12.2023	
5	Охорона праці та техногенна безпека	09.12-10.12.2023	
6	Висновки, перелік джерел посилання	10.12.2023	

Студент _____ Р. С. Кузьменко
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) _____ О. Г. Кириченко
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Ю. О. Бєлоконь
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 84 с., 17 табл., 12 рис., 1 дод., 34 джерела

ЛИТІ ПОСТІЙНІ МАГНІТИ ЮНДК, МАГНІТИ ЗІ СТОВПЧАСТОЮ КРИСТАЛІЧНОЮ СТРУКТУРОЮ, МАГНІТИ З МОНОКРИСТАЛІЧНОЮ СТРУКТУРОЮ, СПРЯМОВАНА КРИСТАЛІЗАЦІЯ, МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ, ВИСОКОКОЕРЦИТИВНИЙ СТАН

Об'єкт дослідження – технологія виплавки магнітного сплаву типу ЮНДК.

Предмет дослідження – закономірності і механізми фізико-хімічних процесів отримання магінтних сплавів ЮНДК.

Мета роботи – розробка і впровадження технології виплавки сплаву ЮНДК.

Методи дослідження – хімічний аналіз, петрографічний аналіз, мікроскопічний аналіз, теоретичні розрахунки, дослідження в напівпромислових і промислових умовах, статистичний аналіз отриманих результатів.

Наукова новизна:

1. Встановлено вплив термічної обробки на створення висококоерцитивного стану.

Практичне значення:

1. Розроблено технологію отримання сплаву типу ЮНДК.

У розділі «Загальні положення та класифікація магнітних матеріалів» надано аналіз класифікації магнітом’яких та магнітотвердих матеріалів.

У розділі «Обгрунтування вибору плавильного агрегату» зазначено вимоги до плавильного обладнання; обгрунтований вибір типу плавильної печі та способу плавки; наведена технічна характеристика, схема та опис будови плавильної печі; представлений вибір складу та технології виготовлення футерування, набивання тигля; наведені технологічні особливості плавки та контроль якості виплавленого сплаву.

У розділі «Дослідження особливостей технології отримання сплавів

ЮНДК» досліджено структуру та властивості сплавів для постійних магнітів ЮНДК25БА, отриманих методом напрямленої кристалізації та розглянуто вплив деяких технологічних параметрів виплавки на вміст газів у сплаві типу ЮНДК.

У розділі «Охорона праці та техногенна безпека» проаналізовано основні проблеми охорони праці та техногенної безпеки в умовах проведення досліджень в умовах електросталеплавльного цеху.

Розроблена технологія рекомендується для дослідно-промислових випробувань в електросталеплавильних цехах України.

ЗМІСТ

ВСТУП 8
1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ МАГНІТНИХ МАТЕРІАЛІВ 10
1.1 Магнітом'які матеріали 12
1.2 Магнітотверді матеріали 20
1.3 Характеристика матеріалу ЮНДК 36
2 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ПЛАВИЛЬНОГО АГРЕГАТУ 37
2.1 Вимоги до плавильного обладнання 37
2.2 Вибір типу плавильної печі та способу плавки 38
2.3 Технічна характеристика плавильної печі 40
2.4 Схема та опис будови плавильної печі 40
2.5 Вибір складу та технології виготовлення футерування 43
2.6 Набивання тигля 44
2.7 Технологічні особливості плавки 45
2.8 Контроль якості виплавленого сплаву 47
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ СПЛАВІВ ЮНДК 49
3.1 Структура та властивості сплавів для постійних магнітів ЮНДК25БА, отриманих методом напрямленої кристалізації 49
3.2 Вплив деяких технологічних параметрів виплавки на вміст газів у сплаві типу ЮНДК 57
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 64
4.1 Аналіз потенційний шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища електросталеплавильного цеху 64
4.2 Заходи з електробезпеки 69
4.3 Заходи пожежної безпеки 71
4.4 Технічні заходи виробничої санітарії 72
4.4.1 Освітлення виробничих приміщень 72

4.4.2 Опалення і вентиляція 73
Висновки 74
Перелік джерел посилання 76
Додаток А Публікації за темою кваліфікаційної роботи 80

ВСТУП

Магнітні матеріали мають здатність намагнічуватися при введенні в магнітне поле, деякі з яких зберігають намагніченість навіть після припинення дії магнітного поля.

В електрообладнанні і апаратурі він грає роль провідника магнітного потоку (магнітопроводи). Вони можуть служити джерелом магнітного потоку. Магнітні матеріали є основою сучасних генераторів, двигунів, трансформаторів, пристроїв автоматизації та вимірювальних приладів. Розміри електромеханічної машини і потужність на одиницю ваги залежать від якості магнітного матеріалу.

До магнітних матеріалів відносяться залізо, нікель, кобальт і сплави на їх основі. Основними магнітними матеріалами є магнітна сталь і сплави. Вони діляться на 2 групи:

- Магнітотверді - для виготовлення постійних магнітів (хромова і хромокобальтова сталь);

- Магнитом’ягкі - вони легко намагнічуються в змінному магнітному полі і використовуються для виготовлення сердечників (магнітопроводів) обертових електричних машин, трансформаторів і електромагнітів з мінімальним споживанням енергії.

Як магнітотвердих сплавів зазвичай використовуються хромисті і хромокобальтові сталі (ЕХ3, ЕХ5К5, ЕХ9К15). Ці сталі використовуються після термообробки. Найкращою структурою магнітотвердих сплавів є мартенсит з декількома карбідами. Сплави залізо-нікель-алюміній володіють більш високими властивостями, проте вони непридатні для механічної обробки. Деталі виготовляються з них методом лиття та металокераміки.

Постійні магніти використовуються в якості допоміжних пристроїв намагнічування для контролю великих деталей вагонів (корпусів автозчепів, бічних рам, балок прогонових будівель вантажних автомобілів і т.д.), для магнітопорошкової і ферозондової дефектоскопії.Він також використовується у вакуумному комутаційному обладнанні нового покоління.

Чисте залізо і електротехнічна сталь (сплав заліза з кремнієм), а також залізо-нікелеві, залізо-кобальтові і залізо-нікель-кобальтові сплави на основі заліза в якості магнітомягких матеріалів чисте залізо або оксид заліза у вигляді порошку використовується в якості бездефектного магнітного матеріалу при магнітному способі отримання неруйнівний контроль деталей вагонів (осей колісних пар, деталей візків і т.д.).).

Основним легуючим елементом електротехнічної сталі є кремній, який знижує магнітні втрати сталі. Чим вище вміст кремнію в сталі, тим нижче магнітні втрати. Однак кремній підвищує твердість і крихкість сталі, ускладнюючи її обробку.

Залізо-нікелевий сплав (пермаллой) підрозділяється на сплав з високим вмістом нікелю (70-83% нікелю) і з низьким вмістом нікелю (40-50% нікелю). Пермаллой має високу пластичність, легко розкочується в тонкі листи і має високу проникність. Їх магнітні властивості багато в чому залежать від термічної обробки. Магнітні властивості пермалоїв можуть бути поліпшені шляхом додаткового легування кобальтом, марганцем, хромом, кремнієм та іншими елементами.

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ МАГНІТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Тіло, що рухається в магнітному полі, намагнічується. Інтенсивність намагнічування (I) збільшується зі стростанням напруженості магнітного поля (H):

$$I=k\cdot H$$

де I — інтенсивність намагнічування;

H — напруженість магнітного поля.

Коефіцієнт пропорційності k - це **магнітна сприйнятливість**. У залежності від знаку (+, -) величини магнітної сприйнятливості розрізняють три класи магнітних тіл:

1) парамагнетики ($k<0$) від 10^{-4} до 10^{-7};

2) діамагнетики ($k>0$) від 10^{-2} до 10^{-5};

3) феромагнетики $k>>1$

Для перших двох класів магнітна сприйнятливість дуже мала (10^{-4}-10^{-5}) і тільки в перехідних металів вона має досить великі значення (10^{-3}-10^{-4}), для феромагнетиків: заліза, нікелю, кобальту та РЗМ (гадолінію) магнітна сприйнятливість досягає дуже великих значень $k>>10^6$.

Відомо, що при переміщенні заряду генерується магнітне поле. Сумарний магнітний момент вільного атома дорівнює геометричній сумі орбітального і спінового моментів всіх зовнішніх електронів. В атомі з неповною оболонкою спіновий момент не компенсований і володіє специфічним магнітним моментом.

За відсутності магнітного поля, коли магнітні моменти компенсуються один з одним, виникає додатковий сумарний магнітний момент всього тіла під впливом зовнішнього магнітного поля. На рисунку 1.1 схематично показана орієнтація магнітних моментів атомів в різних матеріалах.

Для металів у кристалічному стані узагальнений рух електронів додається до зазначеного руху електронів у вільному атомі. Через орбітального руху

електронів під впливом зовнішнього магнітного поля виникає додатковий момент, завжди спрямований у зовнішнє магнітне поле (діамагнітна складова). Спіновий магнітний момент атома орієнтується в напрямку магнітного поля, тим самим посилюючи його (парамагнітна складова). Зовнішнє магнітне поле змінює характер руху вільних електронів, і згідно квантової теорії, на додаток до діамагнітної складової утворюється парамагнітна складова в 3 рази більше першої.

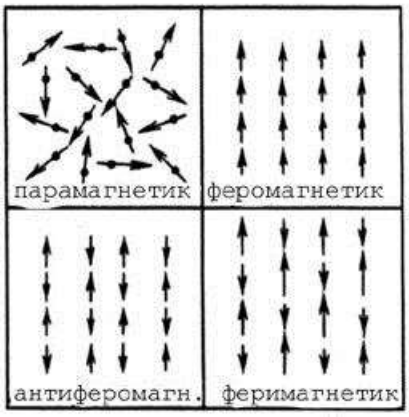


Рисунок 1.1 – Схема орієнтації магнітних моментів атомів різних матеріалів

Отже, в деяких металах сума діамагнітних складових іонного складу решітки та електронного газу перевищує парамагнітну складову електронного газу і є діамагнітною (мідь, цинк, олово, вісмут і т.д.).). В інших металах переважає парамагнітний ефект електронних газів, і вони є парамагнітними (натрій, кальцій, магній, алюміній і т.д.).). Парамагнітні властивості особливо помітні у перехідних металів, які мають свої власні магнітні моменти в іонізованому стані (молібден, вольфрам, титан, платина).

Частина перехідних металів (залізо, кобальт, нікель та ін.).) володіє дуже високим позитивним коефіцієнтом магнітної сприйнятливості (10^6), і вони виділяються в особливу групу - феромагнетики. Вони намагнічуються дуже інтенсивно, і їх насичення досягається в дуже слабких полях (десятки Ерстед). Парамагнітне намагнічування до насичення вимагає напруги поля порядку 10^9 Ерстед.

Легка намагніченість феромагнетиків залежить від того, що окремі

магнітні моменти атомів орієнтовані не вздовж магнітного поля, а їх групи (домени) орієнтовані всередині кожної області, оскільки при відсутності зовнішнього магнітного поля магнітні моменти атомів розташовані паралельно один одному в напрямку найлегша намагніченість кристала, так що кожна область може бути довільно (мимовільно) намагнічена вони не збігаються з межами замку, і їх розміри можуть сильно варіюватися (10^{-4}-10^{-6} м). Між окремими доменами є 10^{-7}-10^{-8} існує шар (доменна стінка), який порушує рівність орієнтації. За відсутності зовнішнього магнітного поля вектори намагніченості окремих доменів спрямовані в різні боки і компенсують один одного, тому весь кристал не намагнічений. У деяких речовинах антипаралельний порядок магнітних атомів у домені є більш сприятливим станом. У цьому випадку домен складається з 2 підкладок з протилежною орієнтацією магнітного моменту атома. Якщо магнітні моменти 2-х базових шарів компенсовані, таке тіло називається антиферомагнетиком, а якщо воно не компенсовано, виникає результуючий магнітний момент, і таке тіло називається феромагнетиком.

1.1 Магнітом'які матеріали

Магнітом'які матеріали характеризуються високою проникністю, низькою коерцитивною силою і низькими магнітними втратами при перемагнічуванні. Вони широко використовуються в якості сердечника електромеханічних, електромагнітних трансформаторів, дроселів, якорів і статорів.

Магнітом’які матеріали діляться на низькочастотні і високочастотні матеріали з сильно відрізняються електричними параметрами.

Високочастотні матеріали мають високий електричний опір і часто є напівпровідниками.

I. **Низькочастотні магнітом'які** матеріали у свою чергу підрозділяють на три групи:

1. Матеріали з високою індукцією насичення;

2. Матеріали з високою магнітною проникливістю;

3. Матеріали з особливими магнітними властивостями.

До першої групи належить технічно чисте залізо (низьковуглецева Електротехнічна сталь), яке містить 0,04% з і 0,6% інших домішок і володіє високою проникністю, низькою коерцитивною силою. Завдяки своїй високій магнітній індукції (H_S=2,15 Тл), низькій коерцитивній силі (H_C=100 А/м), досить високій магнітній проникності (M_{MAX}=79 мГн/м) і хорошій технологічності він може використовуватися для магнітних полів напруженістю від 10^2 до 5×10^4 А/м.

Магнітні властивості нелегованої електротехнічної сталі наведені в таблиці 1.1. Перша цифра марки сталі вказує спосіб виготовлення гарячекатаної сталі (1), холоднокатаної ізотропної сталі (2). Стовпець 2, 0, вказує на низький вміст кремнію (0,03%).

Таблиця 1.1 – Магнітні властивості нелегованої електротехнічної тонколистової сталі

Сталь	H_C, А/м	m_{MAX}, мГн/м	B(Тл) при H=30кА/м
10895; 20895	95	3,8	2,05
10864; 20864	64	5,6	2,05
10848; 20848	48	6,0	2,05

3-я цифра визначає основні характеристики, які гарантує виробник. Тобто цифра 8 означає коерцитивну силу, а її значення (А/м) вказується останніми 2 цифрами. Нелегована сталь використовується в електротехнічній промисловості. Однак низький електричний опір (r=0,1 мкОм*м) збільшує втрати тепла при перемагнічуванні, що обмежує його використання в пристроях з постійним магнітним полем.

Електромеханічний магнітопровід і пристрої змінного струму (до 400 Гц) виготовляються з тонколистової Кремнієвої сталі з вмістом кремнію від 1% до 4%. Додавання кремнію призводить до зміни магнітних і електричних властивостей, що, в порівнянні з низьковуглецевою сталлю, збільшує

проникність, знижує коерцитивну силу і значно збільшує електричний опір (Таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 – Магнітні властивості легованої електротехнічної тонколистової сталі

Сталь	Товщина листа, мм	P1,5/50 Вт/кг	B(Тл) при H(кА/м) не менше	
гарячекатана ізотропна				
1311	0,50	6,1	1,48	1,95
1411	0,50	4,4	1,46	1,94
1511	0,50	3,5	1,46	1,90
холоднокатана ізотропна				
2011	0,65	9,0	1,60	2,02
2111	0,65	10,0	1,58	2,0
2211	0,65	7,0	1,56	1,96
2311	0,65	5,8	1,52	1,96
2411	0,50	3,6	1,49	1,96
холоднокатана анізотропна				
3411	0,50	2,45	1,75	-
3416	0,28	0,89	1,9	-

Перша цифра в марці означає вид прокату та структуру: гарячекатана ізотропна (1), холоднокатана ізотропна (2) та холоднокатана анізотропна з кристалографічною текстурою напрямку [100] (3). Друга цифра в марці демонструє вміст кремнію у %: 0 - вміст -0,4%, 1 - (0,4-0,8)%, 2 - більше 0,8-1,8%, 3 - більше 1,8-2,8%, 4 - більше 2,8-3,8%, 5 - більше 3,8-4,8%. Третя цифра характеризує втрати на гістерезис та теплові втрати при певному значенні B та f. Зокрема, питомі втрати при B=1,5 Тл та f=50 Гц (P1,5/50).

Четверта цифра тим більша, чим менші питомі втрати P1,5/50.

Аналіз даних таблиці 1.2 вказує на вплив технології виробництва сталей на їх магнітні властивості: при однаковій товщині найбільші питомі втрати посідає

гарячекатана ізотропна сталь. Питомі втрати зі збільшенням вмісту кремнію укорочуються від 10 до 3,6 Вт/кг. Скорочення товщини листа також дає зменшення питомих втрат. Після технологічних операцій, які потрібні для виробництва деталей магнітопроводів, магнітні властивості сталей погіршуються, тобто зросте коерцитивна сила, а отже, втрати на гістерезис.

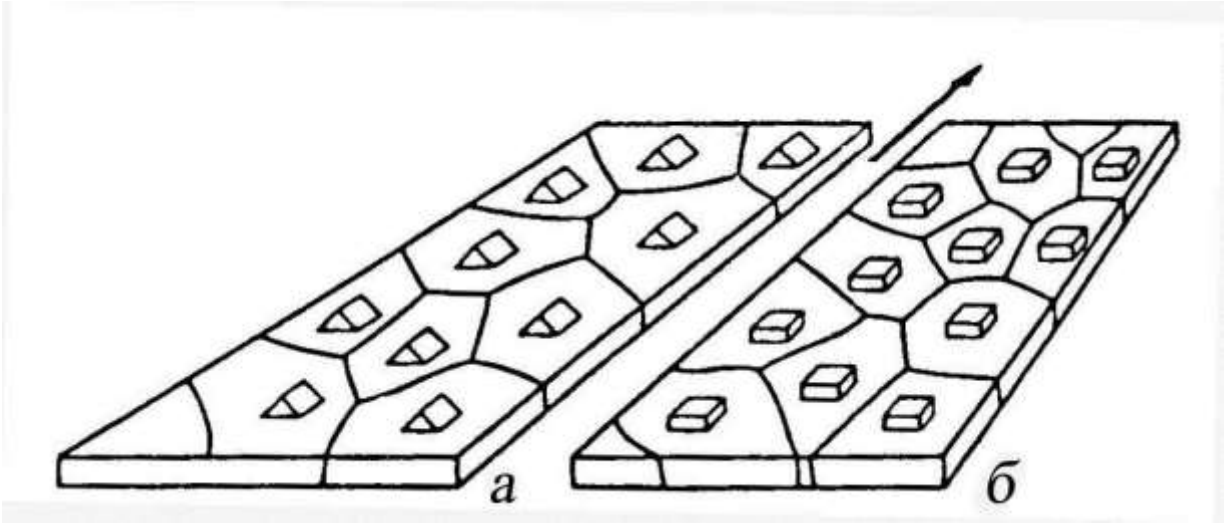


Рисунок 1.2 – Розташування елементарних комірок кристалічної гратки в листі з ребровою текстурою (текстурою Госса) (а) і кубічною текстурою (б) (стрілкою відмічено напрямок прокатки)

Сьогочасна технологія виготовлення вищих сортів електротехнічної сталі окреслює її виплавку з мінімальним вмістом вуглецю і заданим вмістом кремнію, прокатку листа в гарячому стані на товщину біля 2,5 мм, відпал при 800°С і холодну прокатку на товщину 0,35-0,5 мм. При великій холодній деформації (45-60 %) сталь одержує текстуровану до 90% структуру, при деформації біля 10% - малотекстуровану структуру. Якщо прокатка здійснюється тільки в гарячому стані, то текстура не формується і магнітні властивості вздовж і поперек прокатки будуть рівними.

Основними деталями таких електричних машин, як електродвигуни, генератори, трансформатори, дроселі і т. ін. є магнітопроводи, які складені з тонких листів.

Після технологічних операцій (штамповки, різання і т. ін.), які необхідні для виготовлення деталей магнітопроводів, щоб уникнути наклепу і для

укрупнення зерна роблять відпал при 1100-1200°С в атмосфері водню.

Вживання текстурованої електротехнічної сталі у виготовленні трансформаторів допускає істотно знизити втрати потужності і притримати розміри виробів.

Для роботи в слабких магнітних полях, наприклад, в телекомунікаційних системах, вживають пермалої - Fe-Ni сплави з певними вузькими межами вмісту нікелю (біля 79%). Інколи їх додатково легують молібденом і хромом, які покращують спроможність цих сплавів до пластичної деформації і їх магнітну проникність. Високонікелеві пермалої 79НМ, 81НМА характеризуються дуже високою магнітною проникністю в слабких полях, що у десятки разів переважає магнітну проникність заліза. Пермалої одержують вакуумним переплавом, прокатують на смуги і листи магнітопроводів з наступним відпалом при 1100-1300°С у вакуумі або водню.

Для роботи в слабких полях (радіо, телефон) існує замінник дорогих пермалоїв – сплав альсифер, який містить 5,4% Al, 9,6% Si, інше – залізо. Через крихкість альсиферу вироби з нього роблять у вигляді тонких відливок або методом порошкової металургії.

Для високочастотної техніки потрібні матеріали з надзвичайно високим електроопором, що зберігають високу магнітну проникність в широкому частотному діапазоні. Цим вимогам відповідають феррити (не плутати з феритом у сплавах заліза!), які репрезентують собою магнітну кераміку, що отримана методом спікання і складається з Fe_2O_3 і оксидів таких металів, як MnO, MgO, ZnO, LiO_2. Фактично феррити є напівпровідниками, їх електроопір на 6-12 порядків переважає електроопір заліза. Завдяки цьому навіть при самих високих частотах вони мають незначні втрати від вихрових токів.

У ряді епізодів для електромашинобудування потрібні немагнітні матеріали. В якості замінників бронзи, латуні і інших сплавів кольорових металів вживають немагнітні сталі і чавуни, що мають аустенітну структуру. Така структура забезпечується високим вмістом марганцю і нікелю. Парамагнітні властивості мають сталі марок 12Х18Н10Т, 10Х14Г14Н4Т, 40Г14Н9Ф2 і інші.

Електротехнічна сталь ділиться на 2 групи в залежності від її застосування: динамічна і трансформаторна. Для виготовлення динамо-машин і електродвигунів використовується менш легована сталь, що містить 0,5-2,3% кремнію. Трансформаторна сталь має більш високий вміст Si=3,5-4,5%.

Крім кобальту, добавки легуючих елементів знижують індукцію насичення залізом. Практичне застосування знайшов сплав з вмістом кобальту 35-50%. Для підвищення пластичності і поліпшення оброблюваності в холодному стані в сплав додають хром або ванадій.

Сплав кобальту (К50Ф2) володіє максимальним значенням намагніченості (магнітна індукція становить 23 кГс, Fe-15 кГс).

До матеріалів другої групи відносяться сплави систем Fe-Ni (пермаллой) і Fe-Al-Si (альсіфер). Сплав не містить дорогих легуючих елементів і має хороші магнітні та електричні властивості.

Сплав характеризується високою твердістю і крихкістю і складний в обробці. Алсифери використовуються у вигляді виливків тонкостінних профілів, а також використовуються для отримання дрібнодисперсних порошків при виготовленні магнітних діелектриків.

У промисловості найбільш широко використовуються залізо-нікелеві сплави, добре обробляються різкою і пресуванням.

Для поліпшення електромагнітних і технічних властивостей сплавів Fe-Ni їх додатково легують молібденом, хромом, міддю, кремнієм і марганцем. Ці сплави виготовляються з найчистіших заліза і нікелю, отриманих методом вакуумного переплаву. Пермаллой характеризується кращими магнітними властивостями, ніж технічне залізо або Електротехнічна сталь.

Пермаллой ділиться на 2 групи за складом: з низьким вмістом нікелю — 35-65% Ni, з високим вмістом нікелю - 75-80% Ni.

Сплави першої групи використовуються для невеликих трансформаторів, дроселів, реле і деяких сердечників магнітопроводів, що працюють в області підвищеної індукції. Сплави 2-ї групи використовуються для магнітного екранування, яке є сердечником невеликих трансформаторів. Ці сплави

виготовляються у вигляді холоднокатаних листів і стрічок товщиною 0,0015～2,5 мм, гарячекатаних листів товщиною 3-22мм і прутків товщиною 8-100мм.

Марка залізо-нікелевого сплаву: 50Н, 45Н, 50ХНС, 79НМ, 80НХС, 76НХД.

Термообробка пермаллоя полягає в повільному нагріванні матеріалу до температури 1100-1150°С в середовищі, що захищає його від окислення (вакуум, водень), і витримці при цій температурі протягом 3-6 годин. Залежно від розміру і ваги клітини, вона повільно охолоджується до 600°С (100°С/год), а потім швидко до 200°С (швидкість охолодження 400°С/год). Магнітні властивості сплавів Fe сильно залежать від швидкості охолодження під час відпалу. Для сплавів, що містять 75% Ni, при повільному охолодженні нижче 600°С твердий розчин упорядковується і проникність знижується.

Залізо-нікелеві сплави широко використовуються в обчислювальній техніці та обладнанні автоматичного управління. Відмінною особливістю таких матеріалів є висока залишкова індукція, тобто прямий кут петлі гістерезису (рис. 1.3).

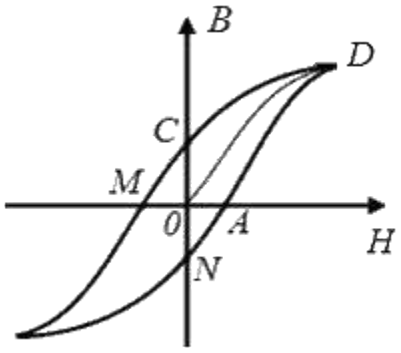


Рисунок 1.3 – Петля гистерезису

Існує 2 способи отримання матеріалу з прямокутною петлею гістерезису: кристалографічна анізотропія і створення магнітної анізотропії. Кристалографічна анізотропія досягається холодною прокаткою, а магнітна анізотропія отримується охолодженням матеріалу в магнітному полі від температури парамагнітного стану (термомагнітна обробка).

Кристалографічна анізотропія може бути створена в будь-якому матеріалі, здатному до пластичної деформації, а магнітна анізотропія може бути отримана

лише в деяких сплавах і не зустрічається в чистих металах (Fe, Ni, Co).

Перевага методу термомагнітної обробки полягає в тому, що можна отримати прямокутну петлю гістерезису зі стрічкою будь-якої товщини і будь-якого напрямку, не тільки в напрямку прокатки. Наприклад, у сплаві 50НП квадратура петлі досягається за рахунок створення кристалографічної анізотропії, а в марках 65НП і 34НКМП, досягнутих обробкою в магнітному полі, висока вартість тонких стрічкових сердечників і неможливість прокатки стрічок товщиною менше 0,5 мкм досягаються за рахунок розпилення немагнітну металеву підкладку поміщають у вакуум.

Матеріалами з особливими магнітними властивостями є:

1) сплави з високим коефіцієнтом магнітострикції. Ці сплави використовуються для ехолотів, реєструючих головок і сердечників перетворювачів ультразвукових коливань в магнітні для установки для обробки твердих матеріалів, а серед чистих феромагнетиків Ni володіє найбільшою магнітострикцією і широко використовується у вигляді тонких листів (0,1 мм). Недоліком Ni є високі електричні втрати.

Сплави на основі заліза, що містять 13% Al, 50% Co і 54% Pt, мають високу магнітострикцію.

2) термомагнітний сплав.

Сила намагнічування змінюється з підвищенням температури, і в магнітопровід вставляється шунт для компенсації помилок пристрою, викликаних змінами магнітного потоку або перепадами температури. Магнітні властивості матеріалу шунта повинні дуже сильно змінюватися при зміні температури навколишнього середовища. Оскільки магнітна індукція феромагнетиків дуже сильно змінюється поблизу точки Кюрі, температура матеріалу шунта повинна бути близькою до робочої температури. Цим умовам задовольняє сплав Fe + 30% Ni, який втрачає свої феромагнітні властивості при температурі 100°C. додаткове введення sg знижує температуру точки Кюрі, що призводить до більш різкої температурної залежності сили намагнічування.

Найбільш широко використовуваними сплавами є Н38Х14 (компенсатор) і

Н33Ю1 (термалой), а також сплави на основі Ni-Si (кальмалой).

1.2 Магнітотверді матеріали

При виготовленні постійних магнітів використовується магнітотвердий матеріал, це необхідно для отримання максимальної потужності магнітного потоку в зазорі.

Постійні магніти виготовляються з твердої загартованої сталі, безвуглецевого старіючого сплаву або пресуються і спікаються з найдрібнішого порошку. Вони повинні володіти такими властивостями: високою максимальною магнітною енергією (ВН); високою і стабільною коерцитивною силою Нс для запобігання розмагнічування; високою залишковою намагніченістю – залишковою індукцією B_r; не змінюють властивостей з плином часу.

Найбільші труднощі з магнітотвердими матеріалами пов'язані з отриманням високої коерцитивної сили H_c, яка збільшується за рахунок внутрішнього напруження третього роду, яке врівноважується об'ємом порядку однієї основної кристалічної комірки, викликаючи локальну кривизну кристалічної решітки і неоднорідність структури. Локальне спотворення кристалічної решітки, яка є енергетичним бар'єром, збільшує втрати на гістерезис і збільшує коерцитивну силу H_c.

Отже, найбільш вигідною структурою з підвищеним напругою третього роду для сталі з постійними магнітами є мартенсит з частинками цементиту або карбіду, одержуваний після гарту і старіння. Наприклад, високовуглецева хромиста сталь для постійних магнітів (1% С, 3,3% Cr) характеризується видатною стійкістю до аустеніту і хорошою прожарюваністю; її гартують при температурі 850°С в маслі і витримують при температурі 100°С протягом 5 годин. У той же час досягається достатня коерцитивна сила і залишкова індукція.

Сплави Fe-Ni-Co мають високі магнітні властивості, які також називаються сплавами типу Alnico або ЮНДК (табл.1.3).

Ці сплави маркуються тими ж буквами, що і сталь. Недоліками сплавів

типу Alnico є висока твердість, крихкість і погана оброблюваність. Таким чином, з них виготовляють магніти, відливають шляхом шліфування і обробляють. Термічна обробка складається з загартування при температурі 1250-1280°C і певної швидкості охолодження і відпустки для кожного сплаву при температурі 580-600°C.

Метод порошкової металургії використовується для виготовлення невеликих і точних магнітів із сплавів типу Alnico. Спечені сплави аналогічні за складом литим сплавів і прості в обробці, але мають дещо гіршими магнітними властивостями.

Дуже якісні, але дорогі магніти виготовляються зі сплаву з високим вмістом кобальту - 25-50%. Ці сплави відомі як пермендур (50% Fe, 50% Co) і пермінвар (45% Ni, 25% Co, 23% Fe). У них зазвичай додають невеликі добавки Mo, V або Cr. Відносно недавно розроблений сплав hyperco 5 - HS містить 2% V, 48,5% Co, а решта - залізо.

Таблиця 1.3– Хімічний склад і магнітні властивості деяких литих сплавів типу альніко для постійних магнітів

Сплав*	Вміст елементу, %				Магнітні властивості (не менше)		
Ni	Al	Co	Cu	Інші елементи	BH_{max}, кДж/м^3	H_C, кА/м	B_r, Тл
ЮНДК31Т3БА	12-13,5	6,8-7,2	30,5-31,5	3-3,5	3-3,5Ti 0,9-1,1Nb	32	92
ЮНДК40Т8АА	14-14,5	7,2-7,7	39-40,6	3-4	7-8Ti 0,1-0,2Si	32	145
ЮНДК35Т5БА	14-14,5	6,8-7,2	34,5-35,5	3,3-3,7	4,5-4,7Ti 0,8-1,1Nb	36	110
ЮНДК35Т5АА	14-14,5	7-7,5	34-35	2,5-3	5-5,5Ti 0,1-0,2Si	40	115
* - літери БА означають, що сплави мають стовбчасту структуру, а літери АА – монокристалічну структуру							

Група сплавів Fe-Cr-Co містить один з новітніх сплавів - так званий кровав,

який може замінити сплав типу Alnico в останні роки були виготовлені нові матеріали з використанням рідкоземельних елементів, таких як самарій та неодим. Для поліпшення магнітних властивостей магнітотверді Сплави повинні мати нерівноважну структуру, що характеризується великими внутрішніми напруженнями і дрібними зернами.

Магнітотверді матеріали (МТМ), на відміну від МММ, мають велику коерцитивну силу (від 5 до 600 кА/м) і площу петлі гістерезису, великі втрати при перемагнічуванні, високі значення залишкової індукції B_r до 1,1 Тл. Намагнічуються в сильних полях при напруженості поля, що намагнічує, до H_s > 1000 кА/м. МТМ застосовуються виготовлення постійних магнітів – джерел постійних магнітних полів, які у багатьох випадках отримати вигідніше, ніж електромагнітні поля (дешевше, у менших габаритах, конструктивно простіше).

Властивості постійного магніту визначаються характером гілки гістерезису, що розмагнічує гілки, що лежить у II квадраті. Чим більше H_c та B_r, тим більше матеріал підходить для постійного магніту. Але індукція в постійному магніті дорівнює залишковій Br тільки в тому випадку, якщо немає поля, що розмагнічує.

Постійні магніти мають робочий повітряний зазор, на розімкнених кінцях магніту виникають полюси, які і створюють поле H_d, що розмагнічує, знижує індукцію всередині магніту до $B_d < B_r$.

Важливою характеристикою МТМ є питома магнітна енергія $W_{max}=B_d \cdot H_d/2$, де B_d та H_d – значення індукції B_d та напруженості H_d, визначених на кривій розмагнічування.

Розмагнічування пов'язане з тими самими процесами, що й намагнічування: зміщення меж доменів та обертанням векторів намагнічування. Збереження намагніченості МТМ після процесу намагнічування пов'язане з хімічним складом та структурним станом МТМ. Для більшості МТМ основним процесом при розмагнічуванні є обертання векторів намагнічування, який і визначає значення H_c, B_r, W_{max}.

Найбільші значення цих параметрів набувають у МТМ, що мають

однодоменну нерівноважну форму кристалів з неферомагнітними включеннями великих розмірів, а також у великій кількості різного роду спотворення кристалічної решітки (структура перенасиченого твердого розчину впровадження) і великі залишкові напруги. Перелічені умови ускладнюють поворот векторів намагнічування, тобто ускладнюють розмагнічування.

МТМ для постійних магнітів за способом виготовлення поділяють на литі, порошкові та деформовані.

Історично першими МТМ були сталі, загартовані на мартенсит, що і дало назву матеріалу - магнітотверді. Зараз до 80% від усіх використовуваних МТМ складають сплави на основі Fe - Ni - Al (альн), Fe - Ni - Al - Co (альник), леговані різними добавками. Високоерцитивний стан цих сплавів обумовлюється механізмом дисперсійного твердіння: при високих температурах до 1300°С при загартуванні утворюється при необмеженому розчиненні компонентів однофазна структура α-фаза. При повільному охолодженні до певної температури відбувається розпад рівноважної α-фази на дві фази, α_1 і α_2, причому α_1 фаза за складом близька до чистого Fe і є сильномагнітною, α_2 фаза складається з Al - Ni і є слабомагнітною, яка перешкоджає повороту магнітних моментів. Матеріали з такою структурою мають великі значення H_c.

Магнітні властивості литих сплавів марок ЮНД, ЮНДК залежать від хімічного складу, термічної, термомагнітної обробки (охолодження сплаву від високих температур ~ 1200 °С з накладенням на зразок сильного магнітного поля, при цьому виникає магнітна текстура і сплав стає магнітоанізотропним). Для поліпшення магнітних властивостей сплави піддають кристалічній текстурі, що створюється шляхом спрямованої кристалізації металу – т.зв. орієнтована стовпчаста структура, що позначається в марці сплаву буквою А. Магнітна енергія W_{max} підвищується при цьому на 60...70% і досягає 40 кДж/м^3. Кобальт покращує магнітні властивості сплавів. Вироби отримують із цих сплавів переважно методами лиття. Сплави відрізняються високою твердістю та крихкістю, тому обробка різанням недоцільна, хоча можлива.

Порошкові МТМ системи Fe-Ni-Al-Co дозволяють виготовляти постійні

магніти, що не вимагають подальшої обробки. Деталі одержують пресуванням і подальшим спіканням при t° ~ 1300°C у захисній атмосфері, дрібнодисперсних порошків компонентів сплаву, дозованих у необхідному відсотковому співвідношенні. Магнітотверді порошкові сплави системи Al - Ni - Fe за магнітними властивостями дещо поступаються литим тієї ж системи.

Магнітотверді ферити на основі оксидів барію і кобальту поступаються за магнітними властивостями ливарним сплавів. Однак вони мають високий питомий опір ρ (що стосується діелектрика), тому їх можна використовувати як постійні магніти у високочастотних магнітних полях без втрати вихрових струмів. Постійні магніти також виготовляються з фериту методом порошкової металургії: пресуванням і спіканням.

МТМ на основі рідкісноземельних металів (самарій, неодим та інші) також отримують з металевих порошків. Ці матеріали мають дуже добрі магнітні властивості. Для матеріалів з урахуванням сполук неодим – залізо – бор значення магнітної енергії досягає W_{max} ~ 250…400 кДж/м^3 з допомогою застосування монокристалічних порошків з розмірами, близькими до критичного розміру домену (~3…10 мкм).

Сплави на основі залізо-ніобій-бор мають хороші магнітні характеристики, втричі дешевше за самарій-кобальтові сплави. Їх недолік - мале значення робочої точки Кюрі, всього 80 °C.

Сплави на основі пластичних металів (Fe, Co, Cu) відносяться до деформованих МТМ і можуть бути виготовлені у вигляді постійних магнітів методами штампування, такими як Стрілки магнітного компаса. В якості вихідних матеріалів використовуються тонкі стрічки і дріт. Деформовані магнітні властивості МТМ наведені в таблиці 1.4. Поліпшення властивостей досягається після термічної обробки, а феромагнітна фаза тонко диспергується в немагнітній основній фазі. Крім того, при пластичній деформації сплавів Куніфе, выкале і хромо можливе формування кристалографічних властивостей, що поліпшують магнітні властивості. Сплави на основі дорогоцінних металів мають високі значення магнітних параметрів (таблиця 1.5), але використовуються

економно через присутність дорогоцінних металів.

Таблиця 1.4 – Магнітні характеристики МТМ промислових сплавів

Система сплаву	W_{max}, кДж/м^3	H_c, кА/м	B_r, Тл
Ливарні сплави системи Al-Ni-Co (марок ЮНДЧ, ЮНДК18)	3,8…30	40…110	0,5 ... 1,02
Порошкові сплави системи Al – Ni – Co (марок ММК1, ММК7)	3…10	24…118	0,6 ... 0,95
Феріти барієві (6БІ240)	3…14	120 ... 180	0,19 ... 0,39
Феріти кобальтові (10КА165)	5…7	140 ... 127	0,23 ... 0,28
Самарій – кобальт (КС37)	55…65	540…560	0,77 ... 0,82
Самарій – презиодим – кобальт (КСП37)	65…72	500…520	0,85 ... 0,9
Деформовані МТМ: - Вікала системи V - Co - Fe (52К13Ф)	8,8	28	0,6
- куніфі системи Cu – Ni – Fe	6,7	47	0,55
- Платинакс системи Pt - Co (ПлК78)	40	320	0,80

Примітка: у дужках наведено позначення сплаву

Як МТМ із задовільними магнітними властивостями вживають низьколеговані мартенситні сталі після термообробки (загартування). З них продукують постійні магніти лише у невідповідальних випадках.

Магнітотверді матеріали - феромагнітні матеріали, що мають високу коерцитивну силу $H_c \sim 10^3 - 10^6$ А/м (1 А/м$=1{,}26 \cdot 10^{-2}$ Э). Магнітотверді матеріали з $H_c \sim 10^4 - 10^6$ А/м застосовуються для магнітів постійних, з $H_c \sim 10^3 - 10^4$ А/м для гістерезисних двигунів та магнітних записів. Магнітотверді матеріали характеризуються кривою розмагнічування, яка визначає значення H_c і залишкової індукції B_r, і максимальним значенням $(B_H)_{макс}$ для кривої розмагнічування (так званим енергетичним твором).

У різних магнітотвердих матеріалах природа високих значень Нс

виділяється одним із трьох основних механізмів затримки процесів перемагнічування у феромагнетиках: незворотним обертанням намагніченості M_s магнітних доменів; затримкою утворення та (або) зростання зародків перемагнічування (зародків магнітної фази з іншим M_s); закріпленням доменних стінок на різних неоднорідностях та структурних недосконалостях кристала.

Таблиця 1.5 – Основні магнітотверді матеріали

Матеріал	Склад, %	Магнитні властивості						Примітка
		Нс		Вг		(НВ)макс		
		Е	кА/м	Гс	Тл	10^6Гс·Е	кДж/м^3	
Ални (ЮНД4)	15,5Al; 25Ni; 4 Cu; решта Fe	500	40,0	5000	0,5	0,9	7,2	-
Алнико (ЮНДК24)	9Al; 14Ni; 24Co; 4 Cu; 0,3Ti; решта Fe	550	44,0	12300	1,23	4,0	32	Термомагнітна обробка (ТМО)
Алнико (ЮНДК25БА)	9 Al; 15 Ni; 25 Co; 4 Cu; 0,8 Nb; решта Fe	775	62	12800	1,28	6,6	52,8	ТМО, стовбчата текстура
Тиконал (ЮНДК35Т5БА)	7,6 Al; 14 Ni; 35 Co; 3,5 Cu; 5 Ti; 0,8 Nb; решта Fe	1560	125	11200	1,12	12,0	96	Теж саме
Викаллой 2	52 Co; 13 V; решта Fe	370-470	29,6-37,6	9000-9500	0,9-0,95	1,0-1,75	8,-14	-
Кунифе 2	50 Cu; 20 Ni; 2,5 Co; решта Fe	260	20,8	7300	0,73	0,35-0,40	2,8-3,2	Анізотропний
Кунико 2	35 Cu; 24 Ni; 41 Co	450	36,0	5300	0,53	0,5	4,0	-
Pt-Co	76 Pt; 24 Co	4800	384	6400	6,4	9,2	73,6	-
Fe-Co-Cr	63 Fe; 25 Cr; 12 Co	630	50	14500	1,45	7,7	61	Анізотропний
Mn-Al-C	70 Mn; 29,5 Al; 0,5 C	2700	216	6100	0,61	7,0	56	Анізотропний
Барієвий ферит	BaO·6Fe2O3	1450	116	4080	4,08	3	24	Анізотропний
Sm-Co	$SmCo_5$	9500	760	9800	9,8	24	190	Анізотропний
Sm-Co-Fe-Cu-Zr	$Sm(Co, Fe, Cu, Zr)_8$	10000	800	12000	1,2	33	260	Анізотропний
Nd-Fe-B-Co-Al	$Nd_{15}Fe_{62.5}B_{5.5}Co_{16}Al$	11000	880	13200	13,2	41	324	Анізотропний

Так, перемагнічування шляхом незворотного обертання намагніченості M_s характерне для подрібнених матеріалів, що укладатимуться з однодоменних частинок. Коерцитивна сила таких частинок може підступати до значення поля анізотропії матеріалу. Однодоменні частки можуть утворитись і в масивному зразку, наприклад при розпаді пересичених твердих розчинів.

Високі значення H_c мають і більші частинки речовини з рівноважною багатодоменною структурою, якщо їх кристалічна структура досить досконала. У таких частках, якщо вони знаходяться у стані намагніченості насичення, виникнення зародків перемагнічування обтяжено і відбувається лише у великих негативних магнітних полях, які і визначають в даному випадку величину H_c. Цей механізм притаманний часткам речовин із великою енергією магнітної анізотропії.

Коерцитивна сила, обумовлена в основному затримкою усунення

доменних стінок, характерна для структурно недосконалих матеріалів: сплавів у неоднофазних станах, що здійснюються в процесі всіляких фазових перетворень; матеріалів, насичених структурними дефектами, найбільше значення H_c у таких матеріалах досягаються в станах з розмірами структурних неоднорідностей, порівнянними з товщиною доменних стінок.

За переважним технологичними ознаками, що вбезпечує отримання високої H_c, МТМ можна поділити на групи.

1. Сталі, що гартуються на мартенсит. Вони мають відносно невисоку H_c і застосовуються рідко.

2. Недеформовані литі сплави типу ални, алнико, тиконал, які користуються широким діапазоном значень магнітних характеристик і найпоширенішими матеріалами для постійних магнітів. У них прийняті позначення ЮНД, ЮНДК, ЮНДКТ. Висококоерцитивний стан у цих сплавах визначений розпадом пересиченого твердого розчину та утворенням однодоменних частинок. Деякі їх піддають термомагнітній обробці для отримання високих значень B_r максимальний ефект досягається при термомагнітній обробці сплавів зі стовпчастою кристалічною структурою, одержуваної спрямованою кристалізацією.

3. Деформовані сплави типу вікалою, куніфе, куніко, сплави Fe-Co-Cr, Mn-A1-C, а також сплави на основі благородних металів: Ft-Co, Pd-Fe, Pt-Fe. Ці сплави зазвичай піддають пластичній деформації у поєднанні зі структурним старінням чи упорядкуванням.

4. МТМ, одержувані пресуванням порошків з подальшою термообробкою. Розрізняють: металокерамічні, металопластичні магнітотверді матеріали, оксидні магніти. Металокерамічний МТМ отримують із металевих порошків пресуванням без сполучного матеріалу або спіканням за високої температури. До металокерамічним магнітотвердих матеріалів відносяться найбільш ефективні (енергоємні) сучасні постійні магніти на основі рідкісноземельних сполук (напр., Sm-Co-магніти, магніти зі сплаву Nd-Fe-B). Металопластикові магнітотверді матеріали отримують пресуванням порошків разом з ізолюючою зв'язкою,

полімеризується при невисокій температурі. Оксидні магніти - барієвий, стронцієвий, кобальтовий ферити.

Магнітотверді матеріали застосовуються в основному для виробництва постійних магнітів багатьох пристроїв в електро- та радіотехніці, автоматиці, приладобудуванні, електроніці. Порівняно з електромагнітами постійного струму мають низку переваг, головні з яких:

- підвищена працездатність;
- економія матеріалів та споживання енергії;
- економічна та технічна вигода застосування.

Для отримання високої коерцитивної сили в магнітних матеріалах, крім вибору хімічного складу, використовують технології, що оптимізують кристалічну структуру та ускладнюють процес перемагнічування. Це гарт сталей на мартенсит, дисперсійне твердіння сплавів, створення високих внутрішніх механічних напруг, створення сторонніх включень при високій магнітострикції та інших. Внаслідок цього утрудняються процеси усунення доменних кордонів. У висококоерцитивних сплавів магнітна текстура народжується шляхом їхнього охолодження в сильному магнітному полі.

Сплави на основі заліза-нікелю-алюмінію

Сплави на основі заліза-нікелю-алюмінію вживають в основному леговані міддю та кобальтом. Високобальтові сплави з вмістом більш ніж 15 % вживають зазвичай з магнітною і кристалічною текстурою. Намагнічування цих сплавів здійснюється, головним чином, за рахунок процесів обертання векторів намагнічування. Ці сплави відрізняються високою твердістю та крихкістю, тому магніти з них виготовляють методом лиття. Обробляються шліфуванням, у тому числі із використовуванням алмазного інструменту, ультразвуку та ін. Найдешевші безкобальтові сплави ЮНД та інші, але магнітні властивості у них відносно низькі, де Ю – алюміній. ЮНДК-15 та ЮНДК-18 – магнітоізотропні сплави з відносно високими магнітними властивостями.

Сплави ЮНД з 24 % мають високі магнітні властивості в напрямку магнітної текстури, отриманої при термомагнітній обробці.

ЮНДК-35Т5БА мають найбільшу енергію (W_x = 35-40 кДж/м^3).

ЮНДК-40Т8 – титанистий сплав, що застосовується в сильно розімкнених системах. Має найвищу коерцитивну силу.

Металокерамічні магніти

Добувають методами порошкової металургії зі сплавів Fe-Ni-Al-Co та деформованих сплавів Cu-Ni-Co, Cu-Ni-Fe, Fe-Co-Mo, Pt-Co та Ag-Mn-Al. Механічна міцність їх в 36 разів вище, ніж у литих магнітів.

Магнітотверді ферити

Застосовуються головним чином ферит барію $BaO{\cdot}Fe_2O_3$, ферит кобальту $CoO{\cdot}Fe_2O_3$ і ферит стронцію $Sr\text{-}Fe_2O_3$. Висока H_c цих матеріалів пов'язана з малим розміром кристалічних зерен та сильною магнітокристалічною анізотропією. Магніти з фериту можна вживати при високих частотах, що пов'язано з високим питомим опором. У барієвих феритів, наприклад, $\rho = 10{\cdot}10^7$ Ом·м. Промисловість виготовляє барієві ізотропні (БІ) та барієві анізотропні (БА) магніти, які отримують пресуванням в магнітному полі. Анізотропні магніти мають більш високі магнітні властивості (VV_{max}, H_c). У порівнянні з литими барієві магніти мають багато більшу H_c і малу B_s, що відрізняються високою стабільністю при впливі магнітних полів, різних механічних впливів, структурного старіння.

Вартість магнітів із феритів майже в 10 разів менша, ніж у магнітів із сплаву ЮНДК-24. Недоліки – велика крихкість та твердість, сильна залежність магнітних властивостей від температури.

Сплави на основі рідкісноземельних металів (РЗМ)

Сплави на основі РЗМ (наприклад: прометій металевий, церій металевий, гольмій металевий і т.д.) мають дуже високі значення $H_з$ та W_{max}. Найбільший інтерес являють сполуки RC05 і R2C017, де R – рідкоземельний метал. Для бінарних сполук цієї групи W_{max}=190 кДж/м^3 для потрійних сплавів типу $R_2(Coi_{x}Fe_x)$, де x < 0,6 на основі самарію та празеодиму IV_{max} = 240 кДж/м^3 (теоретичне значення). Магніти з цих сплавів виходять часто рідкофазним спіканням з порошків. Наприклад, магніти на основі $SmCo_5$ спікаються після пресування при температурі 1100 °С протягом 30 хвилин в атмосфері чистого

аргону

Магнітотверді матеріали мають значно більшу коерцитивну силу (від $5 \cdot 10^3$ до $5 \cdot 10^6$А/м), ніж магнітом'які, і широку петлю гістерези. Їх застосовують для виготовлення постійних магнітів, які у багатьох випадках вигідніше, ніж електромагнітні.

Магнітотверді матеріали за складом та способом отримання ділять на литі сплави, металокерамічні матеріали, магнітотверді ферити та ін, наприклад мартенситні сплави.

Литі сплави. Найбільшого поширення набули магнітотверді залізо-нікель-алюмінієві сплави, леговані різними добавками.

Високоерцитивний стан залізо-нікель-алюмінієвих сплавів отримують при 20...33% нікелю та 11...17% алюмінію. Ці сплави легують для поліпшення магнітних та інших властивостей: легування міддю збільшує коерцитивну силу та вдосконалює механічні властивості, але знижує залишкову індукцію; легування кобальтом суттєво покращує механічні властивості, коерцитивну силу, підвищує індукцію насичення, але знижує залишкову індукцію; легування титаном, кремнієм та ніобієм підвищує коерцитивну силу та магнітну енергію.

Магнітотверді матеріали типу алюміній-нікель-кобальт є сплавом заліза з нікелем (12...26 %), кобальтом (2...40 %) і алюмінієм (6... 13 %), що містить (для поліпшення магнітних властивостей) леговані добавки міді (2...8%) та титану (до 9%).

Для поліпшення магнітних якостей метали піддають кристалічній текстурі (шляхом створення спеціальних умов охолодження металу). В результаті одержують мікроструктуру у вигляді орієнтованих стовпчастих кристалів, що дозволяє збільшувати всі магнітні параметри: магнітна енергія $РК_{max}$ піднімається на 60-70% порівняно із звичайною кристалізацією і досягає 40 кДж/м^3.

Марки низки сплавів та його магнітні властивості наведено у таблиці 1.6. Марки сплавів позначаються буквами (Ю - алюміній, Н - нікель, Д - мідь, К - кобальт, Б - ніобій, А - стовпчаста структура, Т - титан) і цифрами, що вказують

процентний вміст елемента.

Таблиця 1.6 – Марки низки сплавів та їх магнітні властивості

Марка сплаву	W, кДж/м^3	$H_з$,кА/м	B,Тл
ЮНД4	3,6	40	0,50
ЮНД8	5,1	44	0,60
ЮНКД15	6,0	48	0,75
ЮНКД18	9,7	55	0,90
ЮНКД24	18	52	1,15
ЮН13ДК25БА	28	48	1,40
ЮНДК31Т3БА	32	92	1,15
ЮНДК34Т5	14	92	0,75
ЮНКД35Т5	18	ПЗ	0,75
ЮНДК35Т5БА	36	ПЗ	1,02

Вироби з цих сплавів здобувають переважно литтям з подальшою обробкою на металорізальних верстатах.

Безкобальтові сплави дешеві (оскільки містять дефіцитних металів), але властивості їх дуже високі. Сплави, що містять кобальт, мають вищі магнітні властивості, але в кілька разів дорожчі.

Магнітотверді матеріали відрізняються від магнітом'яких високою коерцитивною силою (H_c > 4 кА/м) та залишковою індукцією (B_r > 0,1 Тл). Їм відповідає широка гістерезисна петля, вони важко розмагнічують. У намагніченому стані довго зберігають магнітну енергію, тобто є джерелами постійного магнітного поля. Їх використовують також для запису та тривалого зберігання звуку, зображення тощо. Матеріали повинні мати високу тимчасову та температурну стабільність параметрів, задовільні міцність та пластичність. У різних магнітотвердих матеріалах природа високих значень коерцитивної сили виділяється одним із трьох механізмів затримки процесів перемагнічування: незворотним обертанням магнітних доменів, затримкою утворення та зростання зародків перемагнічування та закріпленням доменних стінок на різних дефектах структури кристала.

За способом отримання магнітотверді матеріали класифікують на литі сплави, сплави, що деформуються, магніти з порошків, ферити і сплави на основі рідкісноземельних елементів (РЗЕ).

Леговані сталі, загартовані на мартенсит. За складом це високовуглецеві сталі, леговані W, Mo, Cr або Co. Сталь володіє низькими магнітними властивостями. Вони недорогі і можуть оброблятися на металорізальних верстатах, тому їх почали використовувати при виготовленні постійних магнітів раніше інших матеріалів. Висока коерцитивна сила досягається за рахунок максимальної деформації кристалічної решітки. При загартуванню мартенситом кристали розтягуються і виникають великі внутрішні напруги в решітці.

Литі висококоерцитивні сплави систем Fe-Ni-Al (стара назва альні) і Fe-Ni-Al-Co (Ni - до 35%, Al - до 16%, Co - до 40%), леговані міддю (4-8%), титаном (5–8 %), ніобієм та іншими елементами є основними матеріалами для виготовлення постійних магнітів. Сплави альни з добавкою кремнію раніше називали альні, з кобальтом - альник (більше 24% кобальту - магніко). У маркуванні після букв Ю (алюміній) та Н (нікель) стоять букви легуючих елементів: Д – мідь, К – кобальт, С – кремній, Т – титан, Б – ніобій. Цифра вказує процентний вміст елемента. Літера А означає стовпчасту кристалічну структуру; АА – монокристалічну.

Високоерцитивний стан обумовлений дисперсійним розпадом однорідного твердого розчину на дві фази (α_1 і α_2) з ОЦК ґратами. Дрібні однодоменні частинки феромагнітної речовини (неупорядкований твердий розчин на основі Fe) оточені прошарками парамагнітної речовини (упорядкований твердий розчин, збагачений нікелем та алюмінієм). Особливість полягає в тому, що при повільному охолодженні сплави набувають більшої коерцитивної сили, ніж при оптимальній відпустці після загартування. Перемагнічування може бути здійснено за рахунок обертання магнітних моментів доменів, що можливе лише у порівняно великих полях. Магнітні властивості сплавів значно покращуються, якщо створити кристалічну та магнітну текстуру.

Кристалічна текстура створюється шляхом спрямованої кристалізації металу. При цьому утворюється стовпчаста структура, довжина кристалів досягає 300 мм, вісь кристала збігається з напрямом легкого намагнічування.

Магнітна текстура створюється термомагнітною обробкою - охолодженням сплаву сильному магнітному полі (Н > 1200 кА/м). Після звичайної обробки подовжені пластинки орієнтовані вздовж трьох взаємно перпендикулярних напрямків [100] (рис. 1.4 а). Після термомагнітної обробки досягається впорядковане розташування пластин сильномагнітної фази, які осями легкого намагнічування орієнтуються в напрямку поля (рис. 1.4б). Зростання платівок, спрямованих під кутом 90° до поля, пригнічується. Матеріал має наведену магнітну анізотропію. Для створення магнітної текстури вміст кобальту у металі – щонайменше 24 %.

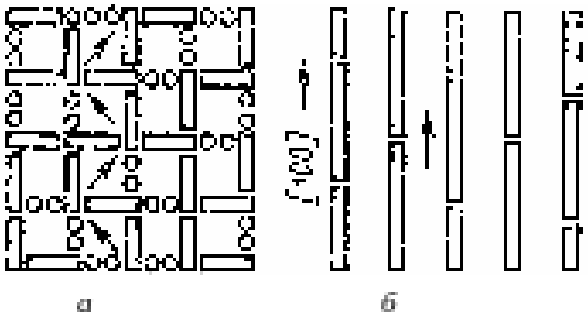


Рисунок 1.4 – Розташування подовжених пластинок α_1-фази в плоскості (100) після звичайної (а) та термомагнітної обробки (б), коли магнітне поле співпадає з напрямом [100]

Порошкові магнітотверді матеріали отримують пресуванням дрібнодисперсних порошків металів Fe, Ni, Al з подальшою термообробкою при 1300 ° С в атмосфері аргону.

Металокерамічні магніти виготовляють пресуванням металевих порошків (без сполучного матеріалу) та спіканням при високих температурах за аналогією з процесами випалу кераміки. Виготовляють дрібні та точні за розміром магніти, за властивостями вони поступаються литим магнітам.

Металопластикові магніти пресують разом з ізолюючим зв'язуванням і піддають нагрівання для полімеризації сполучного. Процес виготовлення аналогічний процесу пресування деталей із пластмас. Оскільки в порошку міститься наповнювач у вигляді твердіших зерен подрібненого магнітотвердого сплаву, то необхідні більш високі тиски (до 500 МПа). Магніти мають пористість

3-5%, залишкова індукція у них на 10-20% нижче, ніж у литих магнітів, зате по механічній міцності вони перевищують литі магніти в 3-6 разів.

Пластично сплави, що деформуються. Ці сплави добре пресуються і обробляються на металорізальних верстатах. Їх можна використовувати для виготовлення стрічок, пластин, листів і дроту. Завдяки мікроструктурі магнітні властивості цих сталей перевершують властивості легованих мартенситних сталей. Дисперсні тверді сплави типу Fe-Co-Mo (комоли) набувають високої коерцитивної сили при відпуску після загартування, і багата молібденом фаза виділяється з твердого розчину. Для додання властивостей магнітотвердих матеріалів сплави Fe-C-V (викала) піддаються холодної пластичної деформації з великим обтисненням і подальшим відпуском. Високі коерцитивні стани сплавів Fe-Ni-Cu (кунифе) і Co-Ni-Cu (кунико) обумовлені появою впорядкованих тетрагональних фаз. Сплави куніфе анізотропні і намагнічуються в напрямку прокатки, їх часто використовують у вигляді дротів невеликої товщини, штампування. Вікала використовується при виготовленні магнітів складної конфігурації, високоміцних магнітних стрічок або дроту.

Магнітотверді ферити (оксидні магніти) – феримагнетики з великою кристалографічною анізотропією. Застосовуються головним чином ферити барію ($BaO \cdot 6Fe_2O_3$), кобальту та стронцію. Феріти барію та стронцію мають гексагональну кристалічну решітку з одновісною анізотропією. Висока коерцитивна сила обумовлена малим розміром кристалічних зерен та сильною магнітною кристалографічною анізотропією. Технологія отримання магнітотвердих феритів аналогічна технології виготовлення кераміки. Для отримання дрібнокристалічної структури здійснюють помел, спікання проводять за невисоких температур, щоб виключити процес рекристалізації. Для надання анізотропії магнітних властивостей матеріал текстурують шляхом формування маси сильному магнітному полі (з напруженістю до 800 кА/м). Феріти кобальту мають кубічну структуру, їх одержують за тією ж технологією, що і ферити барію. Відмінність полягає у термомагнітній обробці спечених магнітів. Магніти з феритів можна використовувати при високих частотах, що пов'язано з високим

питомим опором ($\rho=10^4$-10^7 Ом·м). Недоліки фериту – велика крихкість і твердість, сильна залежність магнітних властивостей від температури.

Сплави на основі рідкісноземельних елементів. Рідкоземельні елементи (РЗЕ) утворюють бінарні з'єднання з металами перехідної групи, які мають високі магнітні властивості. Найбільший інтерес становлять інтерметалеві сполуки з гексагональною структурою: RCo_5 (рис. 1.4), R_2Co_7 та R_2Co_{17}, де R – рідкісноземельний метал (самарій, празеодим, неодим). Елементарний осередок RCo_5 складається з шарів, що чергуються: одні шари складаються тільки з атомів кобальту, інші містять атоми РЗЕ і кобальту. Грати типу R_2Co_{17} можна отримати, якщо один атом РЗЕ замінити парою атомів кобальту, що утворюють гантельну пару:

$$3RCo_5 - R + 2Co \rightarrow R_2Co_{17}.$$

Пара атомів кобальту розташована по обидва боки атомного шару, що містить атом РЗЕ, і вісь гантелі перпендикулярна цьому шару. Залежно від перерозподілу пари гантелей решітка з'єднання може бути або гексагональної, або ромбоедрической.

Ця сполука характеризується сильною магнітною анізотропією та високою температурою Кюрі. Сполуки кобальту з елементами першої половини системи лантаноїдів мають найбільшу намагніченість, тобто найбільш магнітні та немагнітні елементи (ітрій, лантан). Це пов'язано з феромагнітним порядком спінів атомів РЗЕ і кобальту. Нижче певної критичної температури з'єднання $SmCo_5$ розпадається на дві фази. Порушення однорідності фаз є однією з причин появи високої коерцитивної сили в матеріалі.

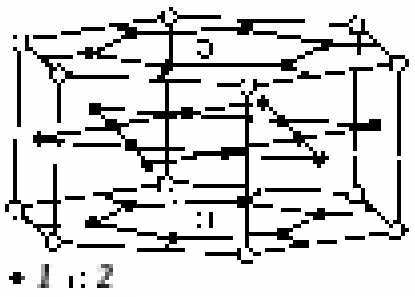


Рисунок 1.5 – Кристалічна решітка $SmCo_5$: 1 – атоми кобальту; 2 – атоми РЗЕ

Технологія виготовлення магнітів із сполук РЗЕ, що містять кобальт, включає наступні операції: приготування вихідних матеріалів, приготування порошків, приготування текстурованих заготовок, герметизацію заготовок і отримання готових виробів.

Вихідна сировина отримують відливанням сплаву заданого складу або термічним відновленням з оксиду, зазвичай в середовищі інертного газу. Порошок отримують шляхом подрібнення в млині. Для запобігання окислення подрібнення проводять в рідкому середовищі (спирт, бензин, толуол). Текстура отримується шляхом пресування в магнітному полі. Текстуровані заготовки мають низьку щільність. Ущільнення досягається деформацією в умовах всебічного стиснення. Наприклад, магніти на основі Smco5 отримують після спікання при температурі 1100°С протягом 30 хвилин в атмосфері чистого аргону і пресування порошку. Магніти повинні бути захищені від окислення. Основними недоліками є висока вразливість і дорожнеча.

1.3 Характеристика матеріалу ЮНДК

Марка:	ЮНДК
Класифікація:	Сплав прецизійний магнітно-твердий
Додаток:	Литий магнітотвердий сплав на залізо-нікель-алюмінієвій основі. Магнітна анізотропія є
Застосування:	Для виготовлення постійних магнітів

Таблиця 1.7 – Хімічний склад у % матеріалу ЮНДК ГОСТ 17809-72

Fe	Si	Ni	Co	Ti	Al	Cu
45.3 – 54.35	**до 1.5**	**12.5 – 15.5**	**23.5 – 25**	**0.15 – 0.5**	**7.5 – 8.7**	**2 - 3.5**

Примітка: Fe – основа; процентний вміст Fe дано приблизно

2 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ПЛАВИЛЬНОГО АГРЕГАТУ

2.1 Вимоги до плавильного обладнання

Для забезпечення гарантованої якості сплаву необхідно використовувати найсучасніше обладнання.

Сплав для виробництва шихтових заготовок з ливарних сплавів виплавляється у вакуумній індукційній печі напівнеперервної дії ємністю тигля від 0,5 до 2,5 тонн. У печах напівнеперервної дії плавильний тигель завжди знаходиться під вакуумом, завантажується шихта і виливки вивантажуються через систему заслінок. Піч повинна бути обладнана механізмом завантаження шихтового матеріалу в тигель під вакуумом, дозатором для введення розкислювачів і добавок до сплавів під час плавки, пристроєм для електромагнітного перемішування розплаву в тиглі, занурювальний термопарою, пристроєм для відсадження зваженої шихти після металу, пристроєм для скребок для очищення стін, пробовідбірник.

Пристрій для вимірювання температури і відбору проб дозволяє контролювати процес плавлення і рафінування для отримання остаточної конфігурації, необхідної для готового продукту.

Піч повинна бути обладнана системою подачі інертного газу в плавильну камеру для контролю ходу процесу або, при необхідності, для підвищення тиску в камері, наприклад, для введення добавок з високою пароеластічностью.

Оскільки дегазація розплаву відбувається на поверхні вакуумного розплаву, для збільшення швидкості дегазації необхідно постійно переміщати свіжу частину металу на поверхню металевої ванни. Тому рекомендується використовувати індуктор якомога більшого діаметру, щоб можна було використовувати максимальну площу поверхні металевої ванни.Таким чином, гарантується висока швидкість дегазації розплаву, що є основним фактором, що визначає ефективність печі.

Вакуумна камера виготовлена з немагнітної нержавіючої сталі і повинна мати подвійну стінку для водяного охолодження.

2.2 Вибір типу плавильної печі та способу плавки

Спосіб плавки, поряд з чистотою шихтового матеріалу, в значній мірі впливає на властивості сплаву і стабільність цих властивостей. Метод вакуумної індукції є найбільш популярним. Він забезпечує:

- В результаті глибокої дегазації розплаву під вакуумом перед додаванням елементів з високою спорідненістю до кисню і азоту (Al, Ti, Nb і т.д.) підвищується чистота металу за рахунок зменшення вмісту окисного полону та інших неметалевих включень.;

- Очищення розплаву від шкідливих домішок кольорових металів (Pb, Bi та ін.), що сприяє поліпшенню властивостей сплавів;

- Отримання металу, хімічний склад якого стабільний;

- Можливість введення в литі сплави високоактивних елементів риформінгу (Zr).

Розвиток технології термостійкого лиття визначило наступний етап вдосконалення плавильного обладнання:

1. Відкрита плавильна піч;

2. Звичайна вакуумна піч;

3. Вакуумна піч полунепрерывного дії.

У вакуумній печі звичайної дії після кожної плавки в корпусі знижують тиск, відкривають камеру печі, витягують заповнену форму, очищають тигель, завантажують порцію нової шихти, а потім встановлюють форму.

Основним недоліком таких печей є низька продуктивність і порушення вакууму після кожної плавки. Це не дозволяє повністю виключити адсорбцію вологи, окислення залишкових металів на стінках тигля, погіршення процесу відкачування повітря з камери і, в кінцевому рахунку, утворення окисного полону і належну очистку металу від газів і шкідливих домішок.

У печі напівнеперервної дії без відкриття печі отримують кілька розплавів, кількість яких визначається стабільністю тигля. У таких установках зміна форми, а також завантаження шихти здійснюються за допомогою шлюзового пристрою

- камери, відокремленої заслінкою від основної камери печі. Завдяки цьому камера завантаження оснащена власним насосом з тиском, рівним тиску плавильної камери, перед плавленням при низькому тиску в плавильній камері і подачею в плавильну камеру, одночасною підготовкою форм і кошиків з шихтою в завантажувальній камері при атмосферному тиску подає форму і шихту в плавильну камеру. Після цього відкривається засувка, і плавильна камера повідомляється з завантажувальної камерою.

Печі полунепрерывного дії широко використовуються в промисловості. Вони мають ряд переваг перед печами періодичної дії:

- Перед запуском нового розплаву виключається перекачування печі, що підвищує продуктивність установки;

- Поліпшуються умови роботи вогнетривкої футеровки тигля, яка не відчуває тривалих коливань температури при відкритті печі;

- Ступінь просочення стінок тигля оксидами металів, що залишаються після плавки, знижується в разі потрапляння в піч атмосферного повітря, що зменшує забруднення металу при подальшій плавці.

У даній роботі необхідно розробити конструкцію печі для виплавки сплавів в ЮНДК, яка має ємність тигля 240 кг. Сплав містить велику кількість легуючих елементів. Цей сплав, що володіє високою термостійкістю, характеризується істотним недоліком-схильністю до утворення плівок. Полоній, що потрапив у виливок, знижує її міцність і є осередком початку руйнування деталей при роботі при високих температурах і підвищених напругах.

Найбільш ефективним способом запобігання окисного захоплення виливків із сплавів, що містять активні елементи, є розплавлення і лиття сплаву у вакуумі. Для цієї мети в промисловості широко використовується вакуумне індукційне обладнання, що плавить метал з підвищеною частотою струму.

Виходячи з цих фактів, плавка і впорскування металу здійснюються в ВІАМ-24, яка являє собою високовакуумну плавильну механізовану установку напівнепреривної дії.

2.3 Технічна характеристика плавильної печі

Як було сказано вище, було обрано вакуумно-індукційну піч для плавки сплаву ЮНДК, модель ВІАМ-24.

У табл. 2.1 наведено технічні дані печі, на рис.2.1 наведено схему.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика ВІАМ-24

Тип плавильної печі	індукційна, поворотна
Спосіб зливу металу з тигля,	через носок плавильної, поворотної печі
Ємність тигля, кг	250
Робоча температура, ^{0}С	1700
Робочий вакуум плавильної камери, Па	(0,67-0,13)
Робочий вакуум заливальної камери, Па	(6,7-1,3)
Тривалість одного циклу, год.	2,5-3,0
Джерело живлення	тиристорний перетворювач підвищеної частоти типу ППЧ-250-2,5
Напруга на індукторі, В	375
Частота Гц	2500
Годинна витрата охолоджувальної води, м^3	66
Габарити: - висота, мм - ширина, мм - довжина, мм	 6612 7700 8700
Займана площа, м^2	67

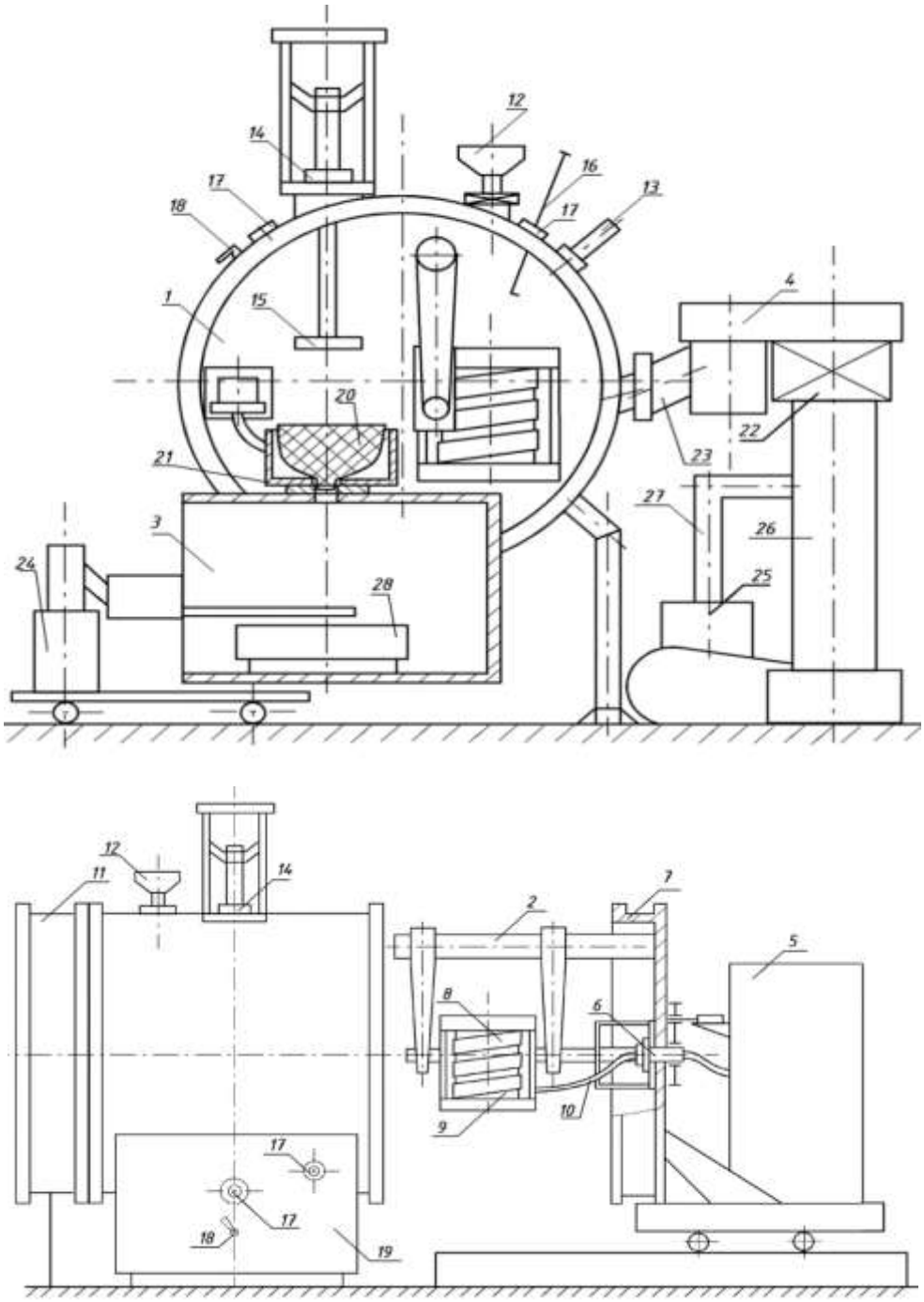
2.4 Схема та опис будови плавильної печі

Піч (рис. 2.1) являє собою тигель з вогнетривкого матеріалу, встановлений на поду, закритий індуктором і посилений металевим каркасом. Піч оснащена гідравлічним механізмом нахилу тигля для зливу металу.

Послідовність робіт: завантажте тигель при відкритті печі і встановіть форму. Після з'єднання частин печі включається вакуумний насос. На індуктор подається напруга. Після закінчення плавки готовий метал заливається в форму.

Відкрийте піч, дістаньте форму і повторіть цикл.

Вакуумна індукційна установка ВІАМ-24 складається з основних вузлів плавильної камери (1), плавильного блоку (2), камери наповнення (3), вакуумного блоку (4) і тиристорного перетворювача (5) (див. 2.1). Плавильна камера є центральним елементом установки. Усередині камери знаходиться плавильний агрегат, прикріплений до передніх дверцят (7). Плавильний агрегат включає в себе індуктор (8), тигель (9), механізм нахилу (6) і коаксіальний вхід (10). Індуктор живиться від тиристорного перетворювача. З іншого боку плавильної камери підвішена друга дверцята (11), що закриває щілину, через яку здійснюється доступ плавильника в порожнину плавильної камери під час профілактичного огляду індукційної печі, Очищення камери і установки змінної проміжної чаші (20). У верхній частині плавильної камери, через вакуумний затвор, встановлено пристрій для введення в дозатор (12) термопари (13). У верхній частині камери розташований механізм подачі клапана шлюзу (14), пластина (15) якого розділяє камеру плавлення і камеру наповнення, дозволяючи замінювати форму в камері наповнення, не порушуючи вакууму в камері плавлення. На бічній стороні корпусу розташований конюшиновий маніпулятор (16), вікно (17) для підтримки металевого дзеркала під час плавки, контролю ходу плавлення без порушення вакууму в плавильній камері, а також Впускний клапан (18). Вакуумна установка складається з 2 механічних насосів попереднього розрідження ВН-6ГМ (25) і 2 бустерних насосів ВН-4500 або аналогічних в парі з 3-м механічним насосом ВН-6ГМ (26). Заповнює камера обладнана столом (28), дверцятами (19), через яку форма завантажується і вивантажується за допомогою маніпулятора (24). Дверцята має вікно і повітряний клапан. Панель управління і тиристорний перетворювач для електрообладнання установки встановлені на нижній і верхній платформах установки.



1 – камера плавильна; 2 – плавильний блок; 3 – камера заливальна; 4 – вакуумний блок; 5 – тиристорний перетворювач; 6 – механізм нахилу; 7 – лобови двері; 8 – індуктор; 9 – тигель; 10 – коаксиальне введення; 11 – двері; 12 – дозатор; 13 – пристрій для введення термопари; 14 – шлюз; 15 – тарілка шлюза; 16 – ломик-маніпулятор; 17 – оглядове вікно; 18 – клапан впуску повітря; 19 – двері заливальної камери; 20 – чаша проміжна; 21 – зливна воронка; 22 – вакуумний затвор; 23 – колектор; 24 – маніпулятор; 25 – насос механічний; 26 – насос бустерний; 27 – вакуумпровод; 28 - стіл

Рисунок 2.1 – Вакуумна індукційна установка ВІАМ-24

2.5 Вибір складу та технології виготовлення футерування

Одним з найважливіших факторів, що визначають ефективність вакуумної індукційної печі, є стабільність підкладки тигля. Основними вимогами до футеровки вакуумної індукційної печі є наступні:

- Висока температура розм'якшення;
- Висока щільність;
- Висока механічна міцність при робочій температурі;
- Термостійкість;
- Максимально можлива хімічна інертність по відношенню до розчинення.

Матеріал тигля заснований на електроплавлених оксидах алюмінію і магнію, а також муллите і магнезіальної шпінелі, використання яких обумовлено тим, що вони завершили об'ємне і фазове перетворення, були видалені небажані домішки і частинки з щільною структурою.

Основні способи виготовлення тигля:

-Набивання;
- Вібраційне лиття водного або парафінового шлікера;
- Гідростатичний прес.

Таблиця 2.2 – Склад суміші для футерування тигля

Матеріал	Вміст, %	Вага
1) Електрокорунд:		
№40-80	30	70 кг
№16-25	40	95 кг
2) Магнезит мелений (фракції 2-4 мм)	30	70 кг
Разом	100	235 кг
3) Плавіковий шпат	1	2,35 л
4) Борна кислота	1	2,35 л
5) Вода	1	8-10

Установка для плавки і розливу ВІАМ-24 використовує тигель з насадкою. Виготовлення тигля шляхом розливу здійснюється вручну шляхом пневматичної

трамбування шарів навколо металевої матриці. Після заповнення тигель сушать електричним нагрівачем, а потім обпалюють в індукційній печі графітовими або металевими електродами, вставленими всередину тигля і нагрітими струмом високої частоти. У підготовленому таким чином тиглі проводять 2 або 3 Промивання розплавів, після чого він готовий до роботи.

Засипають облицювальну суміш в бетономішалку. Додають 8-10 літрів води і перемішують принаймні 30 хвилин до однорідності. Приготовлену масу виливають в розвантажувальний люк дека, накривають вологою мішковиною і залишають на 2,0～2,5 години.

Таблиця 2.3 – Склад суміші для набивання верхньої частини тигля та коміра

Матеріал	Вміст, %
1) Електрокорунд: №40-80 №16-25	 10 90
Разом	100
2) Рідке скло	1:1

Суміш для набивання верхньої частини тигля та коміра готувати безпосередньо перед застосуванням не раніше ніж за 15 хвилин.

2.6 Набивання тигля

Тигель може бути заповнений як на місці, так і за його межами. При упаковці поза установки необхідно зафіксувати введення індуктора. Заповнення тигля слід починати з лотка. На дно покладіть шар зволоженою облицювальної маси відповідно до таблиці 2.2, висота шару становить 50-70 мм. перед укладанням наступного шару розпушите поверхню попереднього трамбування гострим бруском, щоб зміцнити з'єднання між шарами на глибину 5-7 мм. товщина пластини повинна становити 90-110 мм (не менше 1,5 від середньої

товщини стінки тигля). Після ущільнення лотка до необхідної товщини вставте шаблон в центр індуктора. Розпушіть поверхню виступаючого шару навколо основи шаблону конюшиною на глибину 5-7 мм.

Насипте масу футеровки трохи більше ніж на 50 мм в кільцевий простір між азбестовим листом індуктора і шаблоном і утрамбуйте його.

Укладання необхідно проводити до тих пір, поки рівень футеровки не перевищить верхню котушку індуктивності. Послабте верхню частину кожного шару, щоб посилити з'єднання між шарами. Стінки і колір тигля, розташованого над верхньою котушкою індуктора, повинні бути аналогічно заповнені сумішшю, приготовленої відповідно до таблиці 2.3. Після упаковки тигель слід висушити на повітрі принаймні за 24 години до зварювання.

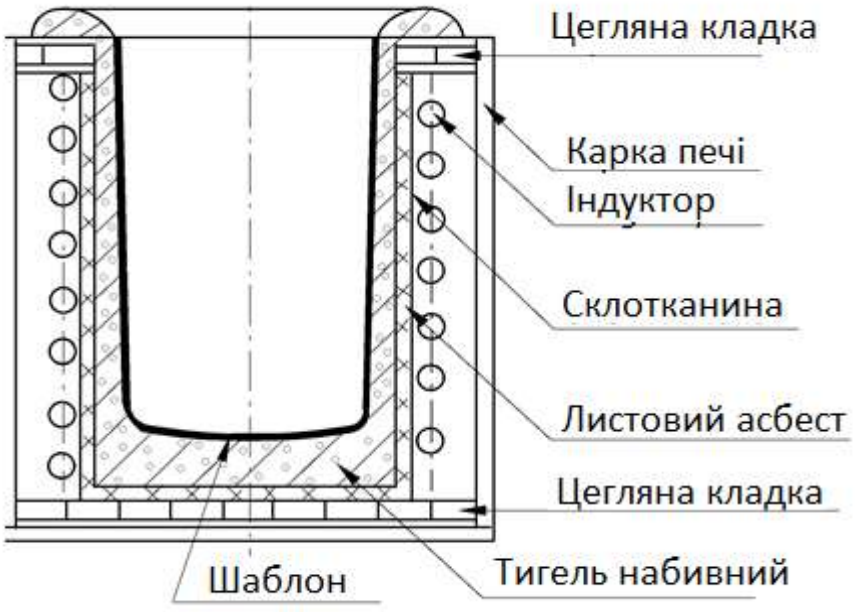


Рисунок 2.2 – Схема набивання тигля

2.7 Технологічні особливості плавки

Технологія виплавки сплаву включає:

- Завантаження шихти і плавку;
- Очищення рідких металів від газів і домішок;
- Введення металів завдяки високій спорідненості до кисню і азоту перед

випуском вводять високоактивні модифіковані метали.

Шихта завантажується в тигель за допомогою завантажувального механізму. Шихту поміщають в циліндричний контейнер, дно якого відкривається, попередньо обв'язують тонкої алюмінієвої дротом (або мотузкою) і плавно опускають в тигель. Коли дріт стикається з яскраво-червоним тиглем, дріт плавиться і шихта опускається на дно. Потім на індуктор подається живлення і поступово збільшується до максимуму.

Коли метал розплавиться і осяде, в тигель вводять іншу частину шихти. Необхідно вловити момент, коли метал ще не повністю розплавився. Тому необхідно стежити за тим, щоб частина шихти з контейнера потрапляла на тверді шматки, що залишилися від попереднього завантаження. Шихта буде поступово нагріватися, видаляти газ і повільно занурюватися в розплав.

Щоб розплавити "перемичку" і "комірець", які можуть утворитися в процесі плавлення у верхній частині тигля, тигель печі нахиляють як в сторону зливного отвору, так і в протилежному напрямку.

Плавлення здійснюється при максимальній потужності. В процесі плавки залишковий тиск в печі (1-10 мкм ртутного стовпа) підтримується на максимально низькому рівні за рахунок інтенсивного кипіння розплавленого металу.

У цей період з шихти видаляється основна кількість газів і частково летючих шкідливих домішок.

Після повного розплавлення шихти і припинення кипіння ванни проводять попереднє розкислення розплаву вуглецем, для чого в метал вводять графітовий бій при температурі 1500-1600°С. Додавання вуглецю супроводжується незначним закипанням ванни за рахунок видалення розплавлене вугілля.

Для остаточної дегазації і очищення від домішок метал витримується у вакуумі. Більш повне очищення металу від домішок досягається за рахунок збільшення часу витримки. Більш тривалий час витримки у вакуумі допомагає видалити азот і летючі шкідливі домішки з металу.

Однак взаємодія металу з тиглем призводить до забруднення металу

киснем і неметалевими включеннями.

Після завершення очищення розплаву вводять метали з високою спорідненістю до кисню і азоту (ніобій, тантал, титан, алюміній). Безпосередньо перед дренажем вводять РЗМ, кальцій, цирконій і бор, оскільки занадто раннє додавання цих елементів призведе до забруднення металу оксидами і нітридними неметалевими включеннями, що утворюються при введенні добавок.

Під час введення добавки до сплаву спостерігається короткочасне падіння вакууму, після чого він швидко відновлюється.

Для більш швидкого і рівномірного розподілу легуючих добавок в обсязі металу після введення кожної добавки метал ретельно перемішується за допомогою електромагнітного перемішуючого пристрою, при цьому відбувається інтенсивне переміщення металу від центру до стінок тигля.

Після додавання всіх легуючих елементів береться проба рідкого металу для швидкого аналізу основних легуючих елементів і в розплав підмішується необхідну кількість елементів.

Перед початком випуску береться проба металу для остаточного хімічного аналізу цього розплаву, а також контролюються особливо шкідливі домішки і гази.

Готовий метал знаходиться на відстані 60-100 мм від труби. Може заливатися в знімний змійовик або сталеву трубу з внутрішнім діаметром виливки, забезпечуючи високу якість поверхні відлитого прутка. Довжина труби становить близько 1 м, а товщина стінки труби становить 15-20 мм.

2.8 Контроль якості виплавленого сплаву

Однією з основних вимог до якості готової продукції є забезпечення вузького хімічного складу за всіма легуючими елементами, що гарантовано можливо здійснити лише шляхом проведення експрес-аналізу під час плавлення. Для цього здійснюють відбір проб рідкого металу, які потім прискорено аналізуються на спеціальних установках, розташованих безпосередньо біля печі:

багатоканальних рентгенівських флюоресцентних та вакуумних емісійних спектрометрів та інших.

Слід звертати особливу увагу на стандартний відбір проб рідкого металу та їхню підготовку до аналізу. Для відбору проб застосовуються відповідні конусні виливниці, виготовлені з маловуглецевої сталі.

Перед проведенням аналізу проби готують на спеціальному устаткуванні для забезпечення чистової обробки поверхні $R_z < 20$ мкм.

На стадії впровадження стандартних зразків та методики аналізу у виробництво аналіз зазвичай проводять двома методами, наприклад рентгенофлюоресцентним і хімічним. При розбіжності результатів беруть додаткові зразки від 1-2 плавок, ретельно аналізують їх хімічним методом та проводять коригування градуювальних графіків.

Після отримання результатів аналізу даної проби проводять розрахунок та відповідне коригування хімічного складу кожної плавки забезпечуються мінімальні відхилення кінцевого вмісту основних легуючих елементів від їх розрахункового вмісту, %: за кобальтом ±0.25; з алюмінієм ±0.15; за міддю ±0.15; за нікелем ±0.15; з вуглецю ±0.01.

Отримання вузького хімічного складу сплаву з мінімальними відхиленнями від плавки до плавки гарантує сталість якості продукції, стабільність структури та властивостей виливків.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ СПЛАВІВ ЮНДК

3.1 Структура та властивості сплавів для постоянних магнітів ЮНДК25БА, отриманих методом напрямленої кристалізації

Магнітотверді матеріали системи Fe-Al-Ni відомі з 30-х років минулого століття [1]. Сплави системи Fe-Al-Ni за механізмом формування висококоерцитивного стану (ВКС) відносяться до групи дисперсійно-твердіючих сплавів, магнітні властивості яких обумовлені особливостями структури, що виникає під час розпаду метастабільного α-твердого розчину (ОЦК) на ізоморфні фази: α_1 - збагачену залізом і кобальтом і α_2 - нікелем та алюмінієм. Частинки сильномагнітної фази виділяються в слабомагнітної матриці α_2-фази вздовж напрямків з мінімальним модулем пружності <001>. Відкриття ефекту термомагнітної обробки (ТМО) у сплавах, легованих кобальтом (Fe-Al-Ni-Co, Alnico або ЮНДК) [2], дозволило суттєво підвищити магнітні властивості сплавів (залишкову індукцію та максимальний енергетичний твір) внаслідок того, що частки сильномагнітної фази виділяються вздовж напрямку <001>, найближчого до напрямку докладання магнітного поля. Подальше підвищення магнітних властивостей стало можливим завдяки формуванню досконалішої кристалічної структури під час виплавки матеріалів шляхом створення температурного градієнта в литниковій системі.

Умови створення стовпчастої структури можливо реалізувати при литті в холодні форми за методом «обігріву металу металом» [3-5], формування монокристалічної структури можливо забезпечити при вакуумному литті за затравною технологією на охолоджуваний холодильник, що висувається з печі - видозмінений метод Бріджмена [6, 7]. Таким чином, можна зробити висновок, що технологія отримання монокристалічних магнітів і магнітів зі стовпчастою структурою досить добре вивчена, але останні десятиліття широких досліджень у цій галузі не проводили. Однак наведені способи кристалізації мають один істотний недолік - неконтрольований температурний градієнт: у міру зростання

кристалів, навіть при висуванні кристалізатора із зони печі, температурний градієнт падає, що тягне за собою утворення паразитних рівноосних зерен. У той же час відомо, що в авіаційній промисловості спрямовану кристалізацію нікелевих сплавів для лопаток газотурбінних двигунів (ВМД) проводять за затравною технологією у високоградієнтних установках спрямованої кристалізації з використанням охолоджувача рідкого металу (олова або алюмінію). Технологія спрямованої кристалізації з використанням рідкометалевого охолоджувача дозволяє отримати температурний градієнт аж до 150°C/cm, контрольований по всій висоті виливки, не досяжний при литті на холодильник, що охолоджується.

Магніти ЮНДК тривалий час займали лідируючу позицію у сфері виробництва постійних магнітів аж до появи рідкісноземельних Sm-Co, Nd-Fe-B постійних магнітів у 1970-1980-х роках [8]. Однак, незважаючи на те, що частка ринку магнітів ЮНДК суттєво знизилася, ці матеріали досі не втрачають своєї актуальності і продовжується їхнє активне застосування в електротехнічних виробах (електродвигунах, генераторах), надвисокочастотній техніці (магнітні фокусуючі системи) та в навігаційних приладах (акселерометрах). Основні закордонні постачальники магнітів знаходяться в США (Arnold Magnetic Technologies, Dura Magnetics Inc., MMC Magnetics, Hitachi Metals America, LLC, Integrated Magnetics, BuntingMagneticsco, MAGNAWORKSTECHNOLOGY та ін.) та Китаї (YUXIANG Magnetic Ma-terialsInd. , Hangzhou Xiaoshan Zhi Jiang Magnet Co., Ltd, China-Base NingboForeign Trade Co., Ltd та ін.). Магніти на основі сплаву системи Fe-Al-Ni-Co представлені в каталогах цих фірм так само добре, як і рідкісноземельні. Слід також зазначити, що магніти системи Fe-Al-Ni-Co не містять дорогих рідкісноземельних металів, видобуток та переробка яких зосереджена головним чином у Китаї, що робить магніти ЮНДК стратегічно важливим матеріалом для економіки країни.

Магнітні властивості найпоширеніших марок литих та порошкових постійних магнітів наведені у табл. 3.1 [9-20]. З представлених у табл. 3.1 даних можна зробити висновок, що сплави ЮНДК програють високоенергетичним

порошковим магнітам по коерцитивній силі і максимальному енергетичному добутку, але мають найбільшу робочу температуру (до 550°С), що робить їх незамінними при роботі в області високих температур як деталі для електродвигунів, датчиків, реле та ін. у виробах для атомної промисловості, в газотурбінній техніці. Таким чином, мета даної роботи – дослідження формування структури та властивостей сплавів для постійних магнітів ЮНДК25БА, отриманих методом спрямованої кристалізації з рідкометалевим охолоджувачем.

Таблиця 3.1 – Властивості магнітних матеріалів

Матеріал	Залишкова індукція B_r, Тл	Коерцитивна сила з індукції H_cB, кА/м	Максимальне енергетичне твір$(BH)_{max}$, кДж/м^3	Максимальна робоча температур, °С
КС25ДЦ-175	0,94	700	150	250
КС25ЕГд	0,68	510	90	180
КС27ЕГд	0,72	550	105	180
КС37	0,77	540	110	200
Пр15Ді16К25М2	0,90	520	150	180
НмБ 200/110	1,00-1,08	720-750	200-220	80
НмБ 150/130	0,94-0,98	680-700	150-170	120
НмБ 150/160	0,94-0,98	680-700	150-170	140
НмБ 150/190	0,94-0,98	680-700	150-170	160
НмБ 150/240	0,94-0,98	680-700	150-170	180
НмБ 150/270	0,94-0,98	680-700	150-170	220
ЮН13ДК24	1,25-1,40	44-60	36	550
ЮНДК25БА	1,25-1,40	48-62	56	550
ЮНДК25БАА	1,25-1,35	56-68	64-72	550

Вакуумно-індукційним способом виплавлено зливки чотирьох складів сплаву ЮНДК25БА по 17 кг. Хімічний склад визначали за допомогою атомно-емісійного аналізу на спектрометрі Agilent 5100 ICP-OES, вміст сірки, кисню, вуглецю та азоту визначали на газоаналізаторі CS-600. Вміст домішок контролювали мас-спектрометричним методом з індуктивно пов'язаною плазмою на установці iCAPQ X SERIES2. Дослідження мікроструктури

проводили за допомогою оптичної мікроскопії, фазовий склад визначали за допомогою рентгенівського фазового аналізу на дифрактометрі Rigaku D/MAX-2500 і мікрорентгеноспектрального аналізу на скануючому електронному мікроскопі Zeiss EVO MA.

Зливки різали на шихтові заготовки по 3,6 кг за допомогою анодного різання і переплавляли в установці високоградієнтної спрямованої кристалізації УВНС-5, варіюючи температуру нагрівання металу, температуру нагрівання форми і швидкість переміщення форми рідкометалічний охолоджувач. Керамічні форми складалися з десяти циліндрів діаметром 15 мм та довжиною 170 мм, встановлених на литникову чашу, для формування заготовок з регламентованою структурою. Після спрямованої кристалізації знову визначали хімічний склад, вміст газів та домішок, проводили дослідження мікроструктури та фазового складу. Досконалість кристалічної структури визначали рентгенівським методом за допомогою побудови прямих полюсних фігур (НПФ).

Зразки сплавів ЮНДК25БА із спрямованою структурою діаметром 15 мм і висотою 20 мм обробляли на висококоерцитивний стан за наступним режимом, рекомендованим у ГОСТ 17809-72: гомогенізаційний відпал при 1290°С протягом 20 хв; ТМО - охолодження у магнітному полі 240 кА/м в інтервалі температур 915-700°С зі швидкістю 15°С/хв; ступінчастий відпал (610 °С, 5 год) + (590 °С, 8 год) + (560 °С, 12 год). Магнітні властивості вимірювали на гістерезисграфі С-300 методом поля, що повільно змінюється. Структуру висококоерцитивного стану досліджували за допомогою електронної мікроскопії (ПЕМ), що просвічує, на електронному мікроскопі Jeol ШМ-1400.

Хімічний склад досліджуваних сплавів наведено у табл. 3.2. Вміст домішкових елементів (Mg, As, Y, Zr, Sn, Sb, Pr, Dy, Pb, Bi)становить не більше 0,0006% (за масою). Вміст вуглецю становило трохи більше 0,01% (за масою), кисню та азоту - трохи більше 0,0015% (за масою).

Таблиця 3.2 – Хімічний склад сплавів ЮНДК25БА

Умовний номер металу	Вміст легуючих елементів*, % (за масою)						
	Al	Ni	Co	Cu	Nb	Si	S
1	8,27	13,94	24,31	3,40	1,026	0,52	0,14
2	7,88	13,39	24,30	3,16	0,153	-	-
3	7,98	13,60	24,70	3,19	0,156	0,825	-
4	7,76	13,35	24,30	3,12	0,152	0,709	0,30

Рентгенівським методом встановлено, що фазовий склад усіх сплавів є однофазним α-твердим розчином, проте металографічні дослідження та мікрорентгеноспектральний аналіз показали, що в структурі сплавів, легованих кремнієм, додатково присутні включення сульфідів ніобію, міді та алюмінію. Однак об'ємна частка сульфідів не перевищувала 10%, що знаходиться за порогом виявлення рентгенівського методу.

З науково-технічних літературних даних відомо, що сплави для постійних магнітів ЮНДК можна кристалізувати з формуванням стовпчастої або монокристалічної структури шляхом створення при виплавці температурного градієнта - наприклад, на установці «Кристалізатор 203» [7, 9, 13]. Досконалість структури виявляється тим вище, що вищий температурний градієнт і що вже інтервал кристалізації металу. Лиття на мідний водоохолоджуваний холодильник, що висувається з печі, не забезпечує рівномірний градієнт температур на всій відстані і знижується в міру затвердіння виливка, що звужує область формування стовпчастої або монокристалічної структури. Існує також спосіб підвищити градієнт за рахунок пропускання постійного електричного струму через кристал, що вирощується. Але такий технологічний прийом суттєво ускладнює технологічний процес та потребує додаткових витрат електроенергії. Лопатки для газотурбінних двигунів зі сплавів ЖС26, ЖС32, ЖС6У, ВЖМ4 та ін успішно кристалізують з утворенням регламентованої структури на установці УВНК-9 з температурним градієнтом 20-40°С/см [22] або на установці УВНС-5

[23], де температурний градієнт можна збільшити до 100-150°С/см. За допомогою диференціальної скануючої калориметрії (ДСК аналізу) встановили температури ліквідус та солідус досліджуваних сплавів (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Результати ДСК аналізу досліджуваних сплавів

Умовний номер сплаву	Температура, °С		Інтервал кристалізації, °С
	солідус	ліквідус	
1	1327	1417	90
2	1401	1435	34
3	1388	1427	39
4	1352	1416	58

Встановлено, що комбінація складу із вмістом ніобію 0,15% (за масою) забезпечує вужчий інтервал кристалізації, що має сприяти утворенню більш досконалої структури. Величина температурного інтервалу кристалізації порівнянна з температурним інтервалом кристалізації сплавів ЖС32 і ВЖМ4 - це дає підставу припускати, що методи та обладнання високоградієнтної спрямованої кристалізації, що використовуються для виробництва лопаток ВМД цілком застосовні і для постійних магнітів ЮНДК.

Спрямовану кристалізацію проводили за таких умов: температура металу змінювали в інтервалі 1550-1700°С, температуру форми: 1450-1600°С, швидкість протяжки - від 1 до 15 мм/хв. Рентгенівським методом за допомогою побудови прямих полюсних фігур встановили, що зразки зі сплаву 1, отриманого методом спрямованої кристалізації, мають стовпчасту структуру з відхиленням кристалографічного напрямку від осі зразка не більше ніж на 10 град. У перерізі, перпендикулярному до осі зразка, спостерігаються до 10 зерен. Зразки плавок спрямованої кристалізації сплаву 2 мають блокову структуру з відхиленням кристалографічного напрямку <100> від осі зразка - від 10 до 2 сплаву 4 – монокристалічну та блокову структуру з відхиленням кристалографічного напрямку <100> від осі зразка - від 20 до 25 град або з збігом кристалографічного

напрямку <110> з віссю зразка. У перерізі зразків сплавів 2-4, перпендикулярному осі зразків, меж зерен немає або видно трохи більше 3 зерен.

Найбільш високі магнітні властивості зразків сплавів із спрямованою кристалізацією наведені у табл. 3.4. На рисунку 3.1 представлена структура висококоерцитивного стану сплавів 1-4 після спрямованої кристалізації (зазначено напрямок застосування магнітного поля, вісь легкого намагнічування <100> та вид петлі гістерезису).

Таблиця 3.4 – Магнітні властивості постійних магнітів із спрямованою структурою

Умовний номер металу	B_r, тл	H_c, кА/м	$(B \cdot H)_{max}$, кДж/м^3
1	1,31	62,5	61,6
2	1,32	43,3	30,4
3	1,38	59,7	56,8
4	1,36	57,1	44,0
ЮНДКБА (ГОСТ 17809-72)	1,25	48	56
Alnico 5 DG (США, Китай)	1,25	52	44

За даними ПЕМ можна дійти невтішного висновку, що структура, що забезпечує найкращі магнітні властивості, реалізується на складах 1 і 3, коли кут відхилення частинок сильномагнітної α_1-фази становить не більше 10 град з віссю легкого намагнічування зразка.

В результаті проведення досліджень встановлена можливість виробництва магнітів ЮНДК25БА на устаткуванні, призначеному для виробництва лопаток газотурбінних двигунів: УВНС-5 з температурним градієнтом до 150°С/см. За результатами досліджень встановлені параметри спрямованої кристалізації та склади, що дозволяють отримати кристалічну структуру з кутом відхилення кристалографічного напрямку від геометричної осі зразка в межах 10 град.

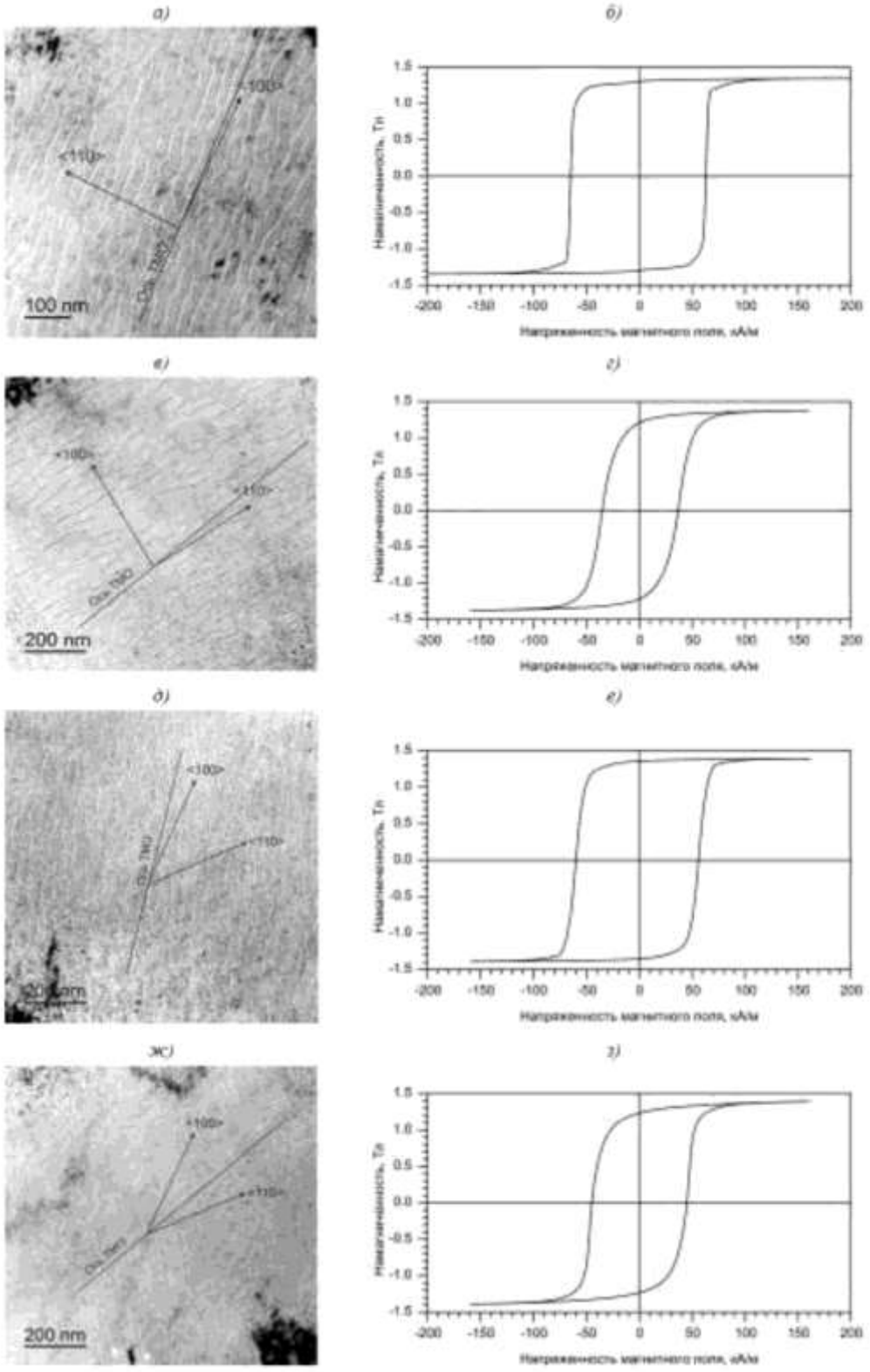


Рисунок 3.1 – Структури сплавів у висококоерцитивному стані (а, в, д, ж) та петлі магнітної гістерези (б, г, е, з) відповідно сплавів 1-4

Встановлено, що найефективніша ТМО на зразках, у яких кристалографічний напрямок <100> близький до геометричної осі зразка. У

цьому випадку нанорозмірні виділення сильномагнітної α_1-фази витягуються вздовж осі легкого намагнічування <100>, що забезпечує досконалу структуру висококоерцитивного стану (ВКС) і, отже, високий рівень магнітних властивостей. У цьому випадку вид петлі гістерези близький до прямокутного. З даних рисунка видно, що найкращими властивостями мають сплави складів 1 і 3, виплавлені з спрямованою кристалізацією. Магнітні властивості цих сплавів перевищують вимоги ГОСТ 17809-72, а також зарубіжні аналоги.

Однак отримані експериментальні дані не виключають можливість промислового використання сплавів складів 2 та 4 з урахуванням того, що для формування досконалої кристалічної структури на сплавах складів 2 та 4, можливо, слід підібрати індивідуальні затравки (зі сплавів того ж складу) або використовувати литникову систему з кристаловідбірником. Зважаючи на схильність сплаву ЮНДК25БА до формування регламенітованої структури, можливо проводити виплавку з довільною орієнтацією, а готовий виріб потрібно буде вирізати з відлитої заготовки за допомогою електроіскрового різання.

Склади системи Fe-Al-Ni-Co плавок 1-3 після спрямованої кристалізації, термічної та термомагнітної обробки перевищують рівень магнітних властивостей, необхідних ГОСТ 175809-72 та наведених у каталогах іноземних виробників.

3.2 Вплив деяких технологічних параметрів виплавки на вміст газів у сплаві типу ЮНДК

Плавлення магнітних сплавів у вакуумі значно покращує експлуатаційні характеристики деталей, виготовлених з цих матеріалів. Очевидно, це пов'язано з отриманням більш чистих сплавів від шкідливих домішок, неметалевих включень газів. Сплав типу ЮНДК36Т5 широко використовується у виробництві постійних магнітів, і його властивості значною мірою залежать від вмісту кисню та азоту в сплаві. Для розробки оптимальної технології виплавки сплавів типу ЮНДК35Т5 у вакуумних умовах необхідний надійний метод контролю вмісту цих газів. Основні труднощі з киснем і азотом в сплаві

ЮНДК35Т5 викликані підвищеним вмістом титану і алюмінію. Тому метою даного дослідження була розробка методу визначення вмісту кисню і азоту в магнітних сплавах на основі Fe-Co-Ni з підвищеним вмістом титану і алюмінію, а також вивчення впливу способу плавки на вміст газу в цих сплавах.

Метод вимірювання вмісту кисню та азоту в сплавах ЮНДК36Т5 був розроблений методом вакуумної плавки на екскалографі ЕА-1 фірми Balzers.

Сплав ЮНДК35Т5 має наступний склад: 35% Co, 14% Ni, 3% Si, 4,5% Ti, 7,2% Al, 1,0% Nb, 0,15% S, 0,1% Ce, решта - залізо. Термодинамічний аналіз дозволяє виміряти вміст кисню та азоту в сплаві ЮНДК35Т5 при нормальній температурі плавлення у вакуумі, якщо процес утворення карбіду або розкладання в порожнистій ванні не відбувається.

На практиці, крім термодинамічних факторів, було показано, що на точність результатів газового аналізу великий вплив робить не тільки процес сорбції газу до адсорбційно-активної сублімації, а й кінетичні процеси. Кінетичні фактори пов'язані з явищем згущення розплаву. У методі вакуумної плавки в якості заготовочних ванн зазвичай використовуються Fe, Ni, Co, Sn і Pt.

У даній роботі були протестовані різні склади заготівельних ванн для аналізу металів ЮНДК5Т5. Результати дослідження показані на рисунку 3.2. Найкращі результати отримані при використанні ванн Ni-Sb, Ni-Sn, Ni-Si. При використанні цих ванн кількість витягуваного кисню максимально. Однак для подальшого вивчення була обрана ванна Ni-Sn з причин, наведених нижче.

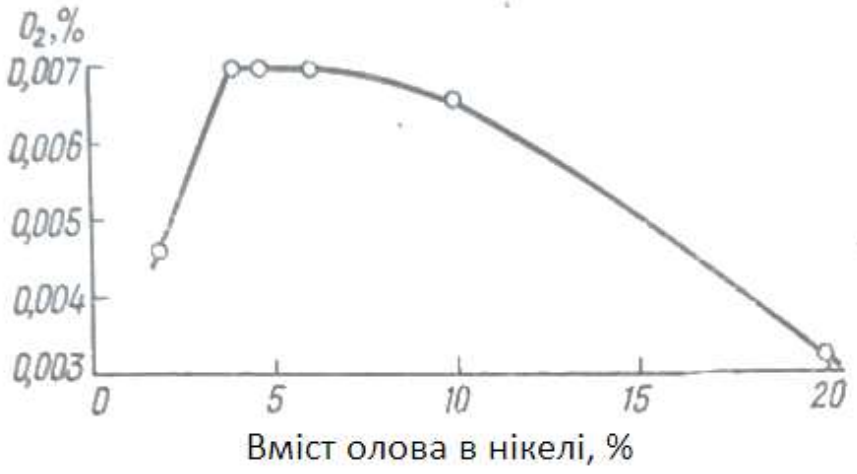
Додавання третього елемента до системи Ni-C впливає на розчинність вуглецю в перехідних металах. Олово і Сурма знижують розчинність вуглецю більшою мірою, ніж мідь (явище згущення). Однак використовувати серйозну ванну непрактично через його дуже високу летючість. Хоча олово має дуже низьку температуру плавлення, воно не сильно розлітається, оскільки різниця між температурою плавлення і кипіння дуже велика. Таким чином, олово використовувалося в якості добавки в незамутнені (нікелеві) ванни. Крім того, олово має здатність утворювати сорбційні гнізда, тим самим запобігаючи поглинання газів під час дистиляції.



Рисунок 3.2 – Вплив складу холостої ванни на процес екстракції кисню

Оптимальне співвідношення нікелю до олову для аналізу сплаву ЮНДК35Т5 слід вважати 5-10% Sn від маси нікелю (див. рис. 3.3). При виборі оптимальної температури екстракції застосовувалася ванна в такій кількості, щоб вміст алюмінію не перевищував <16%, вміст титану - 1% у розплаві (рис. 3.4).

Як випливає з наведених на рис. 3.5 даних, оптимальною температурою екстракції слід вважати 1700°С. Принагідно з визначенням вмісту кисню методом вакуум-плавлення встановлювали вміст азоту. Для перевірки правильності визначення вмісту азоту та кисню була зроблена серія аналізів сплаву ЮНДК35Т5 на динамометрі. Результати, отримані за допомогою цього приладу, дуже добре узгоджуються з даними (отриманими на приладі «Бальцерс»).



Риссунок 3.3 – Залежність екстракції кисню від вмісту олова у ванні

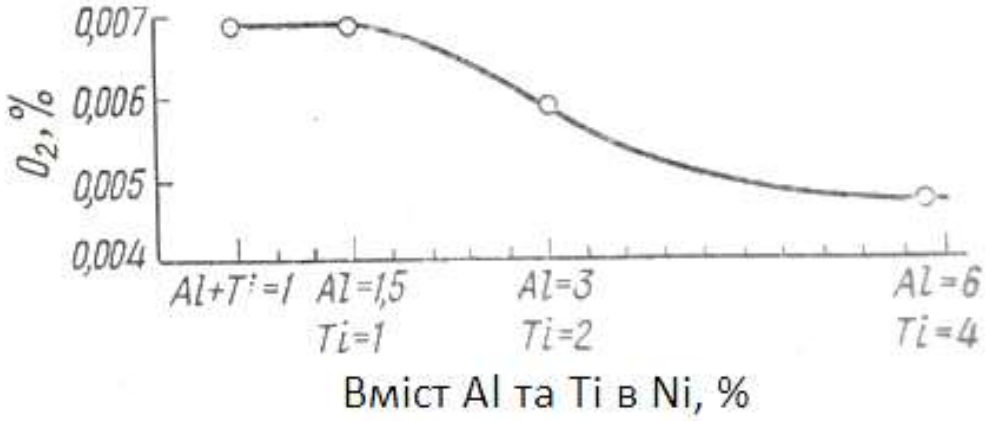


Рисунок 3.4 – Вплив ступеня розведення на повноту виділення кисню

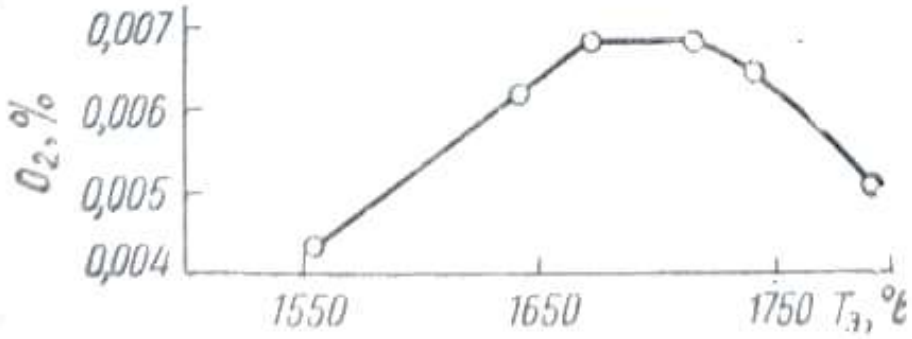


Рисунок 3.5 – Вплив температури на повноту екстракції кисню

Крім того, вміст азоту контролювався хімічними методами (електролітичним розчиненням та розчиненням у кислотах). У всіх випадках результати збігаються. У табл. 3.5 наводяться дані (результатів аналізу сплаву ЮНДК35Т5 методом вакуум-плавлення на приладі «Бальцерс», результати статистичної обробки цих даних) і навіть паралельних (визначень іншими методами. Всього зроблено 255 визначень.

Для вивчення впливу технологічних параметрів виплавки на вміст азоту та кисню у сплаві ЮНДК35Т5 дослідні плавки проводили у вакуумній індукційній печі ємністю 10кг з основною футеровкою, (виготовленої з плавленої маси наступного складу: 70% MgO, 25% Al_2O_3, 3,5% TiO_2, 1,5% ZrO_2 і в спечених тиглях з основою Al_2O_3. Плавки вели на чистих шихтових матеріалах при тиску 760 мм рт.ст. (відкрита плавка) та $1 \cdot 10^{-1}$ мм рт.ст. була випробувана продування гелієм рідкого розплаву у вакуумі через пористу пробку в дні тигля.

Таблиця 3.5 – Результати аналізу сплаву ЮНДК35Т5 на вміст кисню та азоту

Метод	Кисень, %		Азот, %	
Фірми «Бальцерс»	0,0070	0,0070	0,0036	0,0040
	0,0070	0,0066	0,0044	0,0048
	0,0041	0,0063	0,0040	0,0045
	0,0073	0,0064	0,0040	0,0044
	0,0063	0,0071	0,0050	0,0047
	0,0076	0,0061	0,0051	0,0050
	0,0064	0,0070	0,0050	0,0050
	0,0065	0,0077	0,0040	0,0043
	0,0062	0,0061	0,0047	0,0036
	0,0074	0,0062	0,0049	0,0037
Середній вміст	0,0068		0,0044	
Середньоквадратичне відхилення	0,00041		0,00049	
Коефіцієнт варіації	0,01		11,9	
Фірми «Діна-Метер»	0,0064		-	
Хімічний	-		0,0004 0,0004	

Дослідні плавки проводили за наступною технологією. Розплавлення шахти вели при тиску у вакуумній камері $1 \cdot 10^{-1}$ мм рт. ст. Після розплавлення відбирали пробу металу (у разі плавки з продуванням (починали продування). Потім проби відбирали через певні проміжки часу. З відібраних проб виготовляли зразки для визначення вмісту кисню та азоту. Зміна вмісту кисню та азоту в сплаві ЮНДК35Т показано в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Зміна вмісту азоту та кисню в сплаві ЮНДК35Т5 за різних умов виплавки

Номер плавки	Час від розплавлення, хв.	Маса садки, кг	Температура, °С	Тиск, *мм рт. ст.*	Вміст, %	
					[N]	[O]
5	4	6,5	1750	$1 \cdot 10^{-1}$	0,0010	0,0230
	14				0,0025	0,0120
	29				0,0032	0,0060
	31				0,0033	0,0068
	34				0,0032	0,0067
	41				0,0028	0,0060
6	2	6,5	1625	$1 \cdot 10^{-1}$	0,0020	0,0830
	2				0,0030	0,0073
	21				0,0035	0,0110
	29				0,0035	0,0130
	40				0,0030	0,0064
	47				0,0020	0,0037
	53				-	-
7	18	6,5	1610	$1 \cdot 10^{-1}$	0,0040	0,0084
	26				0,0034	0,0023
	33				0,0057	0,0053
	42				0,0040	0,0040
13 продування гелієм)	16	6,5	1600	$1 \cdot 10^{-1}$	0,0027	0,0078
	18				0,0031	0,0094
	23				0,0034	0,0034
	30				0,0053	0,0086
	38				0,0040	0,0100
	45				0,0005	0,0050
	53				0,0003	0,0064
15	5	6,5	1550	Відкрита плавка	0,0100	0,0090
	13				0,0050	0,0073
	23				0,0060	0,0090
	28				0,0100	0,0090

Як видно з наведених даних, виплавка сплаву ЮНДК35Т5 у відкритій печі не дає зниження вмісту кисню. Деяке зниження вмісту кисню спостерігається після введення у розплав алюмінію. Подальше підвищення вмісту кисню до

початкової концентрації пояснюється переважанням процесів переходу кисню з атмосфери печі, а також футерування тигля. Виплавлення сплаву у вакуумній індукційній печі дозволяє отримати по ходу планки.

Що містять кисню, що дорівнює 0,004-0,006% (за масою) - зниження в 2-3 рази. Вміст азоту при відкритій виплавці становить 0,01 % (за масою). Вміст азоту у сплаві, виплавленому у вакуумі, у 2-3 рази нижче. Однак зниження вмісту азоту при витримці у вакуумі не спостерігалося. Причина у кінетичних закономірностях процесу видалення азоту, так***як***швидкість його видалення контролюється процесом дифузії. Цей момент наочно підтверджується значною швидкістю видалення азоту при плавці з продуванням гелієм через пористу пробку в дні тигля (плавка № 13, табл. 3.6). При продуванні рідкого розплаву гелієм значно збільшується питома поверхня, що призводить до значного збільшення ефективної константи швидкості видалення азоту. Вплив температури так само, як і матеріалу тигля, на зміну вмісту кисню та азоту не виявлено.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційний шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища електросталеплавильного цеху

Метою кваліфікаційної роботи є розробка технології виплавки сплавів ЮНДК в електросталеплавильних установках відповідно до діючих стандартів і нормативних актів і з дотриманням всіх вимог з охорони праці.

Під час плавки в дугових печах можуть виникати небезпечні виробничі фактори, що впливають на умови безпеки. До таких факторів належать випромінювання тепла і світла, викид пилу і газів у виробничу камеру, шум і вібрація [14].

Основною причиною небезпеки є процес плавки в печі з виділенням великої кількості газу, пилу і оксиду заліза, а також підвищення температури навколишнього середовища. Крім того, пил, газ і теплове випромінювання також утворюються при виробництві сталі і розливанні.

Джерелом випромінювання є факел полум'я, вогнетривка футеровка в печі, нагрітій до високої температури, поверхня розплавленого металу і шлаку, ефект яких проявляється при відкритому вікні печі. Оскільки температура всіх джерел світла перевищує 500°С, спектр випромінювання включає світлові промені та інфрачервоні промені.

Теплове випромінювання, яке отримують робітники поблизу печі, знаходиться в дуже широкому діапазоні (698-6990 Вт/м^2).

Теплове випромінювання в основному впливає на сталеливарників і підсобних робітників. Інфрачервоне випромінювання впливає на функціональний стан людей, центральну нервову і серцево-судинну системи.

Це включає швидке збільшення частоти серцевих скорочень, збільшення максимального та зниження мінімального артеріального тиску, збільшення частоти дихання, підвищення температури тіла та потовиділення, а також серцево-судинні та травні захворювання [15].

Тривалий вплив інфрачервоного випромінювання і систематичний вплив високих температур можуть викликати порушення водно-сольового балансу і викликати так звані спазматичні захворювання. Порушення теплового балансу викликає захворювання, яке називається термічною гіпотермією або гіпертермією.

В ході технологічного процесу виділяються газоподібні токсичні речовини. Основною причиною забруднення є вакуумне індукційне обладнання.

Якщо порушуються газодинамічні параметри процесу і з-під віконної заслінки вибивається велике полум'я, або сплав відділяється ковшем і раскисляется, газ виділяється з робочого простору печі. Викид газу також може статися в результаті порушення цілісності газопроводу.

У повітря робочої зони викидаються такі газоподібні речовини: CO, SO_2, NO. Окис вуглецю (II) є продуктом неповного згоряння палива або утворюється в результаті фізичних і хімічних реакцій в процесі плавления. CO надходить в організм людини через дихальні шляхи. SO_2 виділяється в повітря через дихальні пути.NO виділяється в повітря через дихальні шляхи. Утворюється вуглеводний оксигемоглобін, який знижує здатність крові переносити кисень до тканин, викликаючи кисневе голодування. В основному це впливає на функціонування центральної нервової системи [16]. Діоксид сірки (SO_2) має стимулюючу дію. При контакті з живим організмом він викликає запальну реакцію, в першу чергу уражаються органи дихання, шкіра і слизові оболонки. Оксид азоту (II) надходить в організм через дихальні шляхи і утворює метгемоглобін в крові. Працівники можуть відчувати кашель, задуху та задишку. У важких випадках може розвинутися набряк легенів. Головні болі та серцева слабкість також поширені [17].

На електросталеплавильних заводах утворюється значна кількість пилу, яка може потрапляти в виробниче приміщення (заповнюючи дно робочого простору печі, укоси та інші конструктивні елементи, заповнюючи до порога).

У робочій зоні печі концентрація пилу може досягати 143 мг/м^3. Джерелом потрапляння пилу в робочу зону також є витік обладнання під час операції завантаження [16].

Кількість виділеного пилу, хімічний склад та гранульований склад залежать від складу та властивостей вогнетривких матеріалів, що використовуються для завантаження та наповнення, палива, кисню та підкладки. Пил нетоксичний і має вміст SiO_2 до 4,2% [16]. Наявність у повітрі пилу, що містить кремній, оксид заліза та інші мінеральні компоненти, може спричинити багато професійних захворювань, широко відомих як пневмоконіоз. Ці захворювання викликають різні зміни в легеневій тканині. Легкі втрачають еластичність, порушуються їх функції і кровообіг, виникає кисневе голодування [14]. Максимально допустима концентрація пилу в повітрі на виробництві становить 4 мг/м^3 [17].

Деякі технічні операції створюють механічний, аеродинамічний та тепловий шум. Причинами постійної шумової перевантаження є рух електричних мостових кранів, робота двигуна генератора в машинному відділенні, витік повітря і згоряння палива [18].

Крім шумових навантажень, вібрація має шкідливий вплив на здоров'я людини. Вібрація в цеху виникає при русі поїзда по надземній частині бункера, при включенні вібропідйомного пристрою, при переміщенні скіпа по похилому мосту і при включенні машини в машинному відділенні.

Вплив шуму може викликати безсоння, знизити працездатність, стати причиною глухоти, професійних захворювань. Струс мозку, викликаний вібрацією, викликає зміни в нервовій системі. Вібрації впливають на кровоносні судини, звужуючи капіляри. Були порушені вегетативна система і остеоартрит. Тривалий контакт з цими факторами може призвести до поширеного фізичного захворювання, яке називається вібраційною хворобою [19].

На підставі аналізу умов праці на електросталеплавильних заводах можна зробити висновок, що норми шуму, вібрації та інфрачервоного випромінювання перевищені. Концентрація пилу, монооксиду вуглецю, діоксиду сірки,

безводного хрому, оксиду марганцю і нікелю в повітрі на робочих місцях електросталеплавильних заводів також перевищує допустимий рівень. За цими показниками умови праці відносяться до III класу, ступеня 3. Згідно з цим показником, робоче місце слід розглядати з шкідливими і небезпечними умовами праці.

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого трудового процесу сталевара

№	Чинники виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі і небезпечні умови			Тривалість дії чинників за зміну %
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м^3 1 клас небезпеки: - ангідрид хромовий - оксид марганцю - нікель	 1,0 0,3 0,5	 0,9 0,28 0,47				 80 80 80
	3-4 клас небезпеки: - азоту диоксид - ангідрид сірчаний - оксид вуглецю	 2,0 10,0 20,0	 1,8 10,0 18,7,0				 80 84,5 80
2	Пил, з домішкою діоксиду кремнію 3,16 %	4,0	3,9				80
3	Вібрація (загальна і локальна), дБ	92	95	-	-	14	80
4	Шум, дБА	80	97	9	-	-	100
5	Мікроклімат в приміщенні: - температура повітря, ºС - швидкість руху повітря, м/с - відносна вологість, % - інфрачервоне випромінювання, Вт/м^2	 19 0,5 75 140	 37 0,6 42 5270	 - 1,6 - -	 - - - -	 13 - - 5270	 90 90 90 80
6	Тяжкість праці	Важка III					
7	Напруженість праці	Напружена					

Щоб зменшити негативний вплив тепла на здоров'я людини, слід обмежити кількість тепла, що виробляється на промислових об'єктах. Для цієї мети піч ізольована спеціальним теплоізоляційним листом. Для відведення конвективного тепла з цеху на даху будівлі цеху встановлені 2 аераційні фонарі, що забезпечують аерацію. Ще одним заходом боротьби з надлишковим теплом є установка повітряних душів на робочих місцях сталеварів [32].

Впровадження сучасних систем газовідведення дозволяє знизити фактичний рівень шкідливих хімічних речовин в газовій суміші, що виходить з печі, до нормативних показників.

Важливою умовою створення належних умов праці є організований повітрообмін. Зовнішнє повітря подається в майстерню через отвори в стінах, вікнах і залізничному турнікеті. Отвори в стінах закриті відкидними панелями, а вікна мають балюстради. Це дозволяє регулювати потік зовнішнього повітря. У теплу пору року повітря надходить в майстерню через припливне отвір на висоті робочої зони, а в холодну пору року - через отвір на відстані не менше 4 метрів від верстата. Повітря видаляється за допомогою витяжної шахти і аераційної лампи. Щоб охолодити надлишкове тепло в цеху і зменшити вплив, в цеху можна проводити дрібнодисперсне зрошення водою.

У цеху важлива подача повітря. У цьому випадку повітря, що подається вентилятором нижче зовнішньої температури, оточує працівника, полегшуючи процес випаровування та допомагаючи охолодити тіло працівника. Установка повітряного душа (стаціонарна або пересувна) встановлюється таким чином, що потік повітря направляється в робочу зону сталевара і забезпечує спрямовану рециркуляцію повітря.

Щоб знизити радіаційне опромінення сталеливарників на робочому місці, необхідно встановити теплозахисні екрани з водяним охолодженням на робочому місці. Теплозахисний екран може концентрувати джерело променистого тепла, зменшувати опромінення на робочому місці та знижувати температуру поверхні навколо робочого місця [33].

Захист від шуму і вібрації при роботі забезпечується належною щільністю повітроводів, газопроводів, клапанів, кришок печей і повітронагрівачів. Автоматизація і механізація технологічних процесів відіграють особливу роль в усуненні впливу шуму і вібрації.

Шум і вібрацію можна зменшити, використовуючи амортизатори та легкі ущільнення в системах вентиляції та проходах для ударної підвіски вібродвигунів [33].

Робочий одяг виготовляється з вогнетривкої просоченої бавовни, вовни або тканини. Для спецодягу оператора кутів і пагонів фасувальної машини слід використовувати металізовану вогнетривку тканину на основі азбесту і скловолокна. Необхідно використовувати високі черевики з халявами. Черевики повинні бути забезпечені термозахисною прокладкою спереду і ізоляційною прокладкою між верхом і підошвою.

Захисні окуляри з небиткого скла і сітчасті маски з бічним захистом використовуються для захисту очей і обличчя від розплавленого металу і шлаку, а також ультрафіолетових і інфрачервоних бризок. Скло SS-14 використовується при роботі поблизу печі.

Захисні пасти, креми та мазі використовуються для захисту шкіри рук, обличчя та шиї. Засоби індивідуального захисту органів дихання від задухи і впливу токсичних газів, парів і пилу включають маски (ШБ-1,У-2К,РП-К, Астра-2) і промислові протигази. Шумопоглинаючі вкладиші з матеріалу FPP-S використовуються для захисту від шуму на робочому місці. Ці беруші ("затички для вух") розраховані на використання протягом 1 дня. Використовуються навушники-вкладиші (шумопоглинаючі навушники) [34].

Для запобігання вібрації використовуються рукавички з подвійними шарами паралону. Також використовуються антивібраційні ремені, подушки, накладки, антивібраційне взуття та антивібраційні килимки.

4.2 Заходи з електробезпеки

Вплив електричного струму на організм людини може мати небезпечні наслідки для здоров'я і навіть призвести до смерті.

Небезпека ураження електричним струмом виникає, коли людина стикається з незаземленою живою частиною робочого пристрою (наприклад, заправним краном, газовим насосом і т.д.). Залежно від ступеня ризику ураження електричним струмом ЕСК відноситься до 2-го класу небезпеки в наявність високої температури.

Вплив електричного струму на людину багато в чому залежить від загального стану людини, характеру зв'язку людського організму з електричними ланцюгами і багатьох інших факторів. Поріг струму (мА):

- 0.6-50. При 60 Гц змінного струму - легке тремтіння пальців;

-5-10 - судоми в кистях;

- 20-25. Параліч рук, задишка, сильний біль [22].

Електричний струм в організмі людини викликає різні фізіологічні, теплові, хімічні і механічні дії. Наприклад, вплив електричного струму на організм людини включає нагрівання людського тіла (до 50-60 °C), розрив шкіри під дією нагрітого повітря, скорочення м'язів внаслідок збудження м'язів при подачі електричного струму.

Для запобігання нещасним випадкам необхідно захистити мережу від перевантаження по струму і торкатися до компонентів, що знаходяться під напругою, або до випадково включених компонентів, що не знаходяться під напругою.

Щоб запобігти перевантаженню мережі, необхідно правильно вибрати перетин дроту, запобігти підключення до мережі непередбачуваних споживачів і запобігти нагрів деяких електроустановок вище допустимого рівня. Для захисту електроустановок від струмів перевантаження використовуйте запобіжники.

Захист від дотику до струмоведучих частин електрообладнання досягається ізоляцією, огорожами, замками, дистанційним управлінням і важкодоступними місцями.

Захисне заземлення [22] використовується для захисту від напруги, що виникає на металевому корпусі обладнання при пошкодженні ізолятора.

Захисне спорядження включає інструменти (наприклад, ізоляційні робочі стрижні, струмовимірювальні стрижні, плоскогубці), одяг (наприклад, гумові діелектричні рукавички, черевики, берці, брезентові рукавички, протигази, ремені безпеки), допоміжне обладнання (наприклад, ізоляційні платформи,

підставки, ковпаки, накладки, тимчасові огорожі), індикатори напруги (для визначення наявність напруги).

4.3 Заходи пожежної безпеки

Типовими причинами промислових пожеж є необережне поводження з вогнем, перебої у виробничому процесі і несправності виробничого обладнання, неправильний монтаж або несправність електропроводки і обладнання, неправильне використання електроприладів, іскри і статичну електрику від виробничого обладнання.

Профілактика пожеж вимагає усунення цих порушень.

В умовах електросталеплавильних цехів, де постійно присутні розплавлені і нагріті метали і шлаки, утворюється велика кількість горючих газів, кисень використовується у великих кількостях, порушення розробленого технічного режиму і порядку проведення робіт не особливо допустимі.

Вода є найбільш поширеним і доступним засобом для гасіння пожеж, але вона не завжди доступна. Піна широко використовується на підприємствах для гасіння пожеж. Хімічна піна виробляється з використанням поролонового порошку ПГП і ПГПС, який складається з кислотної і лужної частин. Також використовується повітряно-механічна піна. Це механічна суміш повітря, води і піноутворювачів (ПУ-1, ПУ-6, ПУ-1а, ПУ-1Д), що складається з контактного парафіну, столярного клею і етилового спирту.

При подачі інертних газів (азот, вуглекислий газ, вихлопні гази, водяна пара) концентрація окислювачів в зоні горіння зменшується, швидкість горіння знижується, і процес зупиняється.

Тверді порошкові вогнегасні речовини використовуються для гасіння невеликих загорянь різних горючих речовин і матеріалів, а також пожеж, які неможливо загасити іншими засобами. Для цієї мети компанією розроблені спеціальні склади ПС-1, ПС-2, СИ-2 і ПСБ.

Також для гасіння пожеж використовуються різні вогнегасні речовини, що містять рідини, хімічні піни, бульбашки, порошки, вуглекислий газ і холодоагенти [23].

Згідно [24] електросталеплавильні заводи по вибухо - і пожежонебезпеки відносяться до категорії Г.

- Негорючі речовини і матеріали в гарячому, розжарюється або розплавленому стані обробляються променистим теплом, виділенням іскри або полум'я;

- Тверді, рідкі або газоподібні речовини використовуються як паливо для Gorenje;

Використовуйте хімічний вогнегасник типу ВХП-10 і пінний вогнегасник, заповнений ЕСК.

Крім того, використовуються 30 одиниць пінних вогнегасників, таких як ВПП 5, ВПП 10 і ВППУ 250, які встановлені на протипожежних стендах.

4.4 Технічні заходи виробничої санітарії

4.4.1 Освітлення виробничих приміщень

У приміщеннях використовується природне і штучне освітлення.

Для освітлення приміщень використовуються газорозрядні лампи низької і високої напруги (люмінесцентні лампи, ДРЛ).

Критерії освітлення підбираються відповідно до особливостей зорової роботи. Види візуальних робіт діляться на 8 категорій візуальних робіт, що складаються з підкатегорій.

Сталевар відноситься до VII категорії візуальних робіт, оскільки його обов'язки пов'язані з люмінесцентними матеріалами.

Мінімальна інтенсивність освітлення робочих поверхонь і зон в галузях промисловості, де потрібне термінове технічне обслуговування, повинна становити менше 5% від робочого освітлення, 2 люкс для будівель і 1 люкс для приміщень, а мінімальна освітленість евакуаційного освітлення повинна

становити 0,5 люкс для поверхів, перекриттів, сходів в головних коридорах будівлі. приміщень та 0,2 люкс для відкритих майданчиків [25].

4.4.2 Опалення і вентиляція

Ми встановили різні системи опалення та вентиляції на наших робочих місцях, щоб гарантувати правильну роботу в різний час року.

У холодну пору року системи опалення, радіатори та обігрівачі встановлюються в приміщеннях, де співробітники працюють або знаходяться протягом тривалого часу.

На вході і виході встановлені повітряні і теплові завіси, які механічно відкриваються і закриваються. У головному диспетчерському пункті встановлена батарея з паровим обігрівом [26].

Влітку система кондиціонування повітря використовується для очищення виробничого повітря та подачі чистого повітря в приміщення [27].

Гігієнічним призначенням вентиляції є забезпечення відповідності вимогам санітарних і будівельних норм і правил проектування будівель і споруд різного призначення шляхом поглинання (асиміляції) надлишкового тепла і вологи в припливному повітрі, розведення його до гранично допустимої концентрації газоподібних шкідливих домішок (ГДК), а також видалення пилу та інші шкідливі домішки, що містяться в повітрі, видаляються з приміщень. Це створює і підтримує якість повітря в приміщенні, що відповідає вимогам повітряного середовища всередині приміщень.

У виробничих умовах, крім тепла, в атмосферу установи потрапляють волога (водяна пара), пил і токсичні гази і пари. Волога потрапляє в повітря приміщень в результаті технічного процесу використання води (наприклад, прання продуктів в резервуарах для води, вологого прибирання), а також від людей як джерело небезпеки. Якщо вологість в приміщеннях підвищується, здоров'я людей погіршується.

ВИСНОВКИ

1. Розроблено технологію отримання сплаву типу ЮНДК, яка включає:

- вакуумно-індукційне переплавлення;

- переплавлення в установці високоградієнтної спрямованої кристалізації УВНС-5;

- хіміко-термічну обробку на висококоерцитивний стан за наступним режимом: гомогенізаційний відпал при 1290°С протягом 20 хв; ТМО - охолодження у магнітному полі 240 кА/м в інтервалі температур 915-700°С зі швидкістю 15°С/хв; ступінчастий відпал (610 °С, 5 год) + (590 °С, 8 год) + (560 °С, 12 год).

2. Встановлено, що найефективніша ТМО на зразках, у яких кристалографічний напрямок <100> близький до геометричної осі зразка. У цьому випадку нанорозмірні виділення сильномагнітної α_1-фази витягуються вздовж осі легкого намагнічування <100>, що забезпечує досконалу структуру висококоерцитивного стану (ВКС) і, отже, високий рівень магнітних властивостей. У цьому випадку вид петлі гістерези близький до прямокутного. З даних рисунка видно, що найкращими властивостями мають сплави складів 1 і 3, виплавлені з спрямованою кристалізацією. Магнітні властивості цих сплавів перевищують вимоги ГОСТ 17809-72, а також зарубіжні аналоги.

3. Склади системи Fe-Al-Ni-Co плавок після спрямованої кристалізації, термічної та термомагнітної обробки перевищують рівень магнітних властивостей, необхідних ГОСТ 175809-72 та наведених у каталогах іноземних виробників.

4. Виплавка сплаву ЮНДК35Т5 у відкритій печі не дає зниження вмісту кисню. Деяке зниження вмісту кисню спостерігається після введення у розплав алюмінію. Подальше підвищення вмісту кисню до початкової концентрації пояснюється переважанням процесів переходу кисню з атмосфери печі, а також футерування тигля.

При вмісті кисню, що дорівнює 0,004-0,006% (за масою) - зниження в 2-3

рази. Вміст азоту при відкритій виплавці становить 0,01 % (за масою). Вміст азоту у сплаві, виплавленому у вакуумі, у 2-3 рази нижче. Однак зниження вмісту азоту при витримці у вакуумі не спостерігалося. Причина у кінетичних закономірностях процесу видалення азоту, так як швидкість його видалення контролюється процесом дифузії.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Основи металургійного виробництва металів і сплавів : підручник для металург. спец. вищ. навч. закл. / Д. Ф. Чернега, В. С. Богушевський, Ю. Я. Готвянський [та ін.] ; за ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського. Київ : Вища шк., 2006. 503 с.

2. Дурягіна З. А., Лизун О. Я., Пілюшенко В. Л. Сплави з особливими властивостями : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів. Львів : Львівська політехніка, 2007. 236 с.

3. Теорія будови рідкого, аморфного і кристалічного стану (об’єм поверхні та поверхня в об’ємі) : монографія / М.М. Бережний та ін. Кривий Ріг : «Мінерал», 2007. 291 с.

4. Смірнов О. М., Макуров С. Л., Сафонов В. М. Виробництво зливків сталі та промислових сплавів : навч. посіб. Донецьк : Ноулідж, 2013. 405 с.

5. Попович В. В., Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Львів : Світ, 2006. 624 с.

6. Атаманюк В. В. Технологія конструкційних матеріалів. Київ : Кондор, 2006. 528 с.

7. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва : навч. посіб. / А. М. Верховлюк, А. В. Нарівський, В. Г. Могилатенко. За ред. академіка НАН України В. Л. Найдека. Київ : Видавничий дім “Вініченко”, 2016. 224 с.

8. Збожна О. М. Основи технологій : навч. посіб. Тернопіль : Картбланш, 2002. С. 30–58.

9. Смирнов В. О., Білецький В. С. Фізичні та хімічні основи виробництва. Київ : Наука, 2005. С. 45−48.

10. Афтанділянц Є. Г., Зазимко О. В., Лопатько К. Г., Поліщук А. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Конспект лекцій в 2-х книгах. Київ: НУБіП України, 2016. 125 с.

11. Сологуб М. А., Рожнецький І. О., Некоз О. І. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство. Київ : Техніка, 2002. С. 374.

12. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга І. Львів. 2000. С. 264.

13. Попович В., Голубець В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга ІІ. Суми : Університетська книга, 2002. С.259.

14. Лютнева Н. Е. Магнітнотверді матеріали та постійні магніти. Київ : Наука, 1969. 236 с.

15. Luborsky F. E., Livingston J. D., Chin G. X. Magnetic properties of metals and alloys, Ch. 26. Physical metallurgy, pt 2, ed. BW Cahn, P. Haasen, Amst. 1983. p. 1673.

16. Mizogushi T., Sakai I., Inomata K. Nd-Fe-B-Co-Al засновані регулярні magnets з невиконаними magnetic properties and temperature characteristics. *Appl. Phys. Lett.* 1986. v. 48. p. 1309.

17. Mishima T. Nickel-aluminum steel for permanent magnets. *Stahl und Eisen.* 1931. Vol. 53. P. 79.

18. Oliver D. A., Shedden J. W. Cooling of Permanent Magnet Alloys in Constant Magnetic Field. *Nature.* 1938. Vol. 142. Issue 3587. P. 209.

19. Пуцикін Г. Г., Пашков П. П., Вейціль М. Я. Дослідження теплофізичних умов отримання та структури кристалічно анізотропних постійних магнітів. *Фізика металів і металознавство*. 1963. Т. 15. Вип. 4. С. 118-123.

20. Лобинцев Є. С., Глушко І. М., Кузнєцов В. М. Отримання магнітів зі стовпчастою структурою методом лиття в стільникові форми. *Електротехнічна промисловість. Електротехнічна сталь*. 1974. Вип. 9 (38). С. 15-19.

21. Чередніченко І.В., Оспеннікова О.Г., Піскорський В.П., Валєєв Р.А., Бузенков А.В. Економічні аспекти виробництва постійних магнітів (огляд). *Новини матеріалознавства. Наука та техніка: електрон. наук.-техніч. журн*. 2016. №4 (22). URL: http://materialsnews.ru (Дата звернення: 02.10.2023).

22. Каблов Є. М., Піскорський В. П., Бурханов Г. С., Валєєв Р. А., Моїсеєва Н. С., Степанова С. В., Петраков А. Ф., Терешіна І. С., Рєпіна М. В. Термостабільні кільцеві магніти з ради.альною текстурою на основі Nd(Pr)-Dy-Fe-Co-B. *Фізика та хімія обробки матеріалів.* 2011. №3. С. 43-47.

23. Каблов Є. М., Петраков А. Ф., Піскорський В. П., Валєєв Р. А., Назарова Н. В. Вплив диспрозію та кобальту на температурну залежність намагніченості та фазовий склад матеріалу системи Nd-Pr-Dy-Ee-Co-B. *Металознавство та термічна обробка металів*. 2007. №4. С. 3-10.

24. Каблов Є. М., Петраков А. Ф., Піскорський В. П., Валєєв Р. А., Чабіна Є. Б. Вплив празеодима на магнітні властивості та фазовий склад матеріалу системи Nd-Pr-Dy-Ee-Co-B. *МiТОМ.* 2005. №6. С. 12-16.

25. Петраков А. Ф., Піскорський В. П., Бурханов Г. С., Рєпіна М. В., Іванов С. І. Особливості спікання магнітів Nd-Pr-Dy-Ee-Co-B з високим вмістом С. *МІТОМ*. 2012. №7. С. 3-9.

26. Каблов Є. М., Оспеннікова О. Г., Піскорський В. П., Резнікова І. І., Валєєв Р. А., Давидова Є. А. *Авіаційні матеріали та технології*. 2015. № Б2 (39). С. 5-10.

27. Каблов Є. М., Оспеннікова О. Г., Резнікова І. І., Піскорський В. П., Валєєв Р.А., Корольов Д. В. Залежність властивостей спечених матеріалів від технологічних параметрів. *Авіаційні матеріали та технології*. 2015. № Б2 (39). С. 24-29.

28. Каблов Є. М., Оспеннікова О. Г., Корольов Д. В., Піскорський В. П., Валєєв Р. А., Резнікова І. І. Механізм впливу вмісту бору та термообробки на властивості магнітів. *Авіаційні матеріали та технології.* 2015. № Б2 (39). С. 30-34.

29. Каблов Є. М. Інноваційні розробки ФГУП «ВІАМ» ДНЦ РФ щодо реалізації «Стратегічних напрямів розвитку матеріалів та технологій їх переробки на період до 2030 року». *Авіаційні матеріали та технології.* 2015. №1 (34). С. 3-33.

30. Колядов Є. В., Герасимов В. В., Вісік О. М. Лиття методом спрямованої кристалізації керованим градієнтом температури на фронті кристалізації. *Ливарне виробництво*. 2016. № 8. С. 24-26.

31. Бондаренко Ю. А., Єчін А. Б. Спрямована кристалізація жароміцного металу зі змінним керованим градієнтом. *Питання матеріалознавства*. 2016. №3 (87). С. 5-58.

32. Державні санітарні правила "Підприємства чорної металургії" ДСП 3.3.1.038-99.

33. Наказ МОЗ від 14.07.2020 № 1596 «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони».

34. Наказ МОЗ України «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони» 14.07.2020 № 1596.

ДОДАТОК А

ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

III ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ ЗА УЧАСТЮ МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ

«АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СТАЛОГО НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО ТА СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ»

17-20 жовтня 2023 року



УДК 669.1

Кириченко О.Г., к.т.н., доц., Кузьменко Р.С., магістрант 2 курсу,
Калиновський М.С., ЗдВО 4 курсу
Науковий керівник – к.т.н., доцент Кириченко О.Г.

ОСОБЛИВОСТІ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ОБРОБКИ РОЗПЛАВУ ДЛЯ ПОСТІЙНИХ МАГНІТІВ ЗІ СПЛАВУ ЮНДК24

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М.Потебні Запорізького національного університету, кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Литі постійні магніти зі сплавів типу ЮНДК широко використовуються як джерела магнітного поля при створенні різних приладів, електричних машин, електронної техніки, спеціальних пристроїв як загальногромадянського, так і військового застосування. Сплави типу ЮНДК містять у своєму складі залізо як основу, до 26,0% кобальту, до 20,0% нікелю, до 4,5% міді, до 10% алюмінію і відносяться до класу прецизійних сплавів. Магніти, виготовлені з цих сплавів, згідно з ГОСТ 17809-72 мають наступний рівень магнітних властивостей: залишкова магнітна індукція B_r – до 1,4 Тл, коерцитивна сила H_{cb} - до 62 кА/м; максимальна магнітна енергія $(BH)_{max}$ - до 56 кДж/м^3 [1, 2].

Сплав ЮНДК24 є найбільш використовуваним та перспективним із усієї серії магнітотвердих сплавів типу ЮНДК. Магнітні властивості постійних магнітів із сплавів типу ЮНДК сильно залежать від вмісту в сплаві розчинних та нерозчинних домішок, а також від типу кристалічної структури литої заготовки. Для отримання високих магнітних властивостей вміст шкідливих домішок у сплаві має бути мінімальним, а кристалічна структура литої заготовки має бути стовпчастою. Найбільш шкідливими домішками для сплавів типу ЮНДК є вуглець, азот, бор. Сумарний вміст цих домішок у сплаві має бути не більше 0,05 мас.%. Цікаво, що сірка не є шкідливою домішкою для сплавів типу ЮНДК, а навпаки спеціально вводиться до їх складу у кількості до 0,2 мас.% для покращення оброблюваності литих заготовок шліфуванням. Відомо, що на структуру та властивості литих виробів із сплавів на основі заліза сильний вплив має високотемпературна обробка розплаву, що проводиться при виплавці цих сплавів [3]. Попередні експерименти на магнітотвердих сплавах також виявили вплив високотемпературної обробки розплаву на макроструктуру литих заготовок. Однак систематичних досліджень, що дозволяють зрозуміти механізм цього впливу та керувати процесом утворення кристалічної структури литої заготівлі, раніше не проводилося. У цій роботі зроблено спробу заповнити відсутні відомості у цій галузі.

В роботі досліджували вплив високотемпературної обробки розплаву (ВТОР) на вміст газів, неметалевих включень, а також на чад елементів, макроструктуру та на наявність дефектів у виливках з магнітотвердого сплаву ЮНДК24. Хімічний склад сплаву по шихті був наступним (у мас. %): кобальт – 24,0, мідь – 3,0, нікель – 14,0, алюміній – 8,5, титан – 0,4, залізо – 49,9. Сплав

вводили сірку в кількості 0,2% від загальної маси сплаву, що виплавляється (тобто понад 100%). При виплавці сплавів використовували чисті метали: нікель Н-1 за ГОСТ 849-97, алюміній А-7 за ГОСТ 11069-97, кобальт К-1 за ГОСТ 123-98, мідь М-1 за ГОСТ 859-78, титан ВТ1-0-48-4-282-86, залізо за ТУ-14-1-1720-46, сірку вводили в розплав у вигляді сірчистого заліза. Виплавку сплаву проводили у відкритій індукційній печі без використання флюсів. Футерування тигля печі – електрокорунд. Порядок плавки був наступним: спочатку розплавляли залізо, кобальт, нікель і мідь, та був у розплав додавали ніобій і далі частинами алюміній разом із титаном і сірчисте залізо. Після повного розплавлення шихти нагрівали розплав до температури 1600, 1650, 1700, 1750 °С і проводили короткочасну витримку при цих температурах протягом 30 с. Готовий розплав заливали в попередньо нагріту до 1300 °С кислу керамічну ливарну форму без дна, виготовлену методом моделей, що виплавляються і встановлену на мідний водоохолоджуваний холодильник. Конструкція форми передбачала одночасне одержання зразків для аналізу хімічного складу сплаву, вмісту газів, неметалевих включень, а також для оцінки макроструктури та дефектів литих заготовок. Контроль температури розплаву здійснювали за допомогою лазерного пірометра фірми «Raytek» (США) та за допомогою термопари занурення марки ВР 5/20, з'єднаної компенсаційними проводами з самописцем КСП-4. Після заливання зразки охолоджували до кімнатної температури разом із формою, вибивали з форми, маркували та використовували для проведення досліджень. Хімічний склад сплаву визначали методом рентгенофлюоресцентного аналізу за допомогою встановлення СРМ-25М. Вміст кисню, азоту та водню у сплаві визначали за допомогою установок РО-17 та TN-15 фірми «Леко» (США). Кількість неметалевих включень у сплаві визначали методом хімічного розчинення зразка з подальшим виділенням осаду, а також методами стереометричної металографії. Макроструктуру зразків оцінювали за травленими шліфами. Для цього виливок розрізали вздовж напрямку тепловідведення, шліфували, травляли для виявлення меж зерен і вимірювали довжину стовпчастих кристалів. Значення чаду елементів сплаву ЮНДК24 за різних режимів високотемпературної обробки розплаву визначали розрахунковим шляхом за даними аналізу хімічного складу сплаву.

Для отримання максимальної довжини стовпчастих кристалів у виливках з магнітотвердого сплаву ЮНДК24, що виплавляється у відкритій індукційній печі шляхом сплавлення чистих металів, температура нагрівання розплаву при виплавці сплаву повинна бути близько 1700°С. Результати були використані для вдосконалення технології виробництва литих постійних магнітів зі сплавів ЮНДК24. Це дозволило надійно отримувати оптимальну макроструктуру литих заготовок та підвищити їх вихід придатного.

Список використаних джерел

1. Афтанділянц Є. Г., Зазимко О. В., Лопатько К. Г. Матеріалознавство. Київ : Ліра-К, 2013. 64 с.

2. Пахолюк А. П., Пахолюк О. А. Основи матеріалознавства і конструкційні матеріали. Львів : Світ, 2005. 172 с

3. Попович В. В., Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Львів : Світ, 2006. 624 с.