

Фізико-технічний інститут, Інженерно-фізичний факультет
(повна найменування інституту, назва факультету)

Кафедра фізичного матеріалознавства
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістра

(рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: Дослідження структури та властивостей зносожаростійкого сплаву
для деталей металургійного обладнання

Виконав: студент 2 курсу, групи 219 м
напряму підготовки (спеціальності)

132 Прикладне матеріалознавство

(код : назва напряму підготовки, спеціальності)

Пашенко С. О.

(прізвище та ініціали)

Керівник: доцент Глотка О.А.

(прізвище та ініціали)

Рецензент: доцент Івахненко Є.К.

(прізвище та ініціали)

Запоріжжя - 2020 року

Національний університет «Запорізька політехніка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Фізико-технічний інститут, Інженерно-фізичний факультет

Кафедра Фізичного матеріалознавства

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістр

Напрямок підготовки 132 Інженерне матеріалознавство

(код і назва)

Спеціальність Прикладне матеріалознавство

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри



"16" 12

2020 року

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Стенко Світлана Олександрівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема проекту (роботи): Дослідження структури та властивостей зносожаростійкого сплаву для деталей металургійного обладнання

Виконавець проекту (роботи): Глотка Олександр Анатолійович (кандидат техн. наук, асистент)

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

Затверджені наказом вищого навчального закладу від "02" 11 2020 року №293

Строк подання студентом проекту (роботи) до 5.12.20

Вихідні дані до проекту (роботи) результати аналізу дослідних плавок та металографічні дослідження

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно зробити)

Огляд літературних джерел

Матеріали і методики дослідження

Результати досліджень

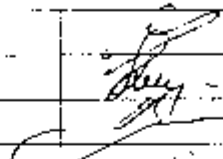
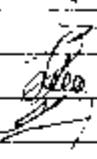
Економічна частина

Охорона праці

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

Кочі спікання рудних матеріалів; Високотемпературний знос відповідальних деталей чей спікання; Зношені литі деталі; Установка високотемпературних випробувань сталів при абразивному зношуванні; Мікроструктура сплаву 100X27H3C2Л; Механізм руйнування серійного сплаву 40X24H12СЛ; Вплив нікелю на жаростійкість і зносоустійкість сплаву 100X27C2Л; Залежність твердості від вмісту нікелю в сталі; Витримки сплаву 100X27C2Л; З'єднання легкоплавкої фази сплаву

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	приймає виконавця завдання
Вступна частина	Доцент Глотка О.А.		
Класифікація сплавів	Доцент Круглікова В.В.		
Методи дослідження	Доцент Нестеров О.В.		
Мікромікроаналіз	Доцент Нестеров О.В.		

7. Дата видачі завдання 07.09.2020

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Прим.
1	Огляд літературних джерел	15.09 – 29.09	
2	Матеріали і методики дослідження	29.09 – 13.10	
3	Результати досліджень та їх обговорення	13.10 – 20.10	
4	Економічна частина	20.10 – 25.10	
5	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	25.10 – 5.11	
6	Виконання креслення обладнання та зношених виливків	5.11 – 15.11	
7	Виконання креслення досліджуваних структур	15.11 – 25.11	
8	Виконання креслення отриманих залежностей по результатам дослідження	25.11 – 15.12	

Студент

(підпис)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Нащенко С.О.
(прізвище та ініціали)Глотка О.А.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дата

приймає

виконав

завдання

ПЗ: 78 с., 15 рис., 17 табл., 1 додаток, 51 джерело.

Об'єкт дослідження – жаростійкі високохромисті сталі.

Мета: дослідження зносостійкості деталей, що працюють при високих температурах.

В роботі розглянута проблема підвищення зносожаростійкості відповідальних деталей печей спікання глинозему. Вивчені умови експлуатації литих деталей при високих температурах і наявності абразивного середовища. Встановлений механізм високотемпературного зношування і причини виходу з ладу деталей. Встановлено, що найбільш перспективними для умов високотемпературного зношування є ферито-карбідні сплави. Розроблений зносожаростійкий сплав.

Використання запропонованих сплавів 100X27C2Л і 100X27H3C2Л замість серійної сталі 40X24H12СЛ, дозволяє не тільки економити коштовний і дефіцитний нікель (до 100 кг на 1 тону відливків), а й збільшити термін служби деталей, виготовлених з досліджених сталей в 1,5-2 рази.

ЖАРОСТІЙКІСТЬ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, АУСТЕНІТ, ФЕРИТ, КАРБИДИ, МІЦНІСТЬ, ТВЕРДІСТЬ, СТРУКТУРА, ЛЕГУВАННЯ, МОДИФІКУВАННЯ

С.О.
виповняє

А.
виповняє

ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	6
1 Огляд літературних джерел.....	8
1.1 Зношування сплавів при високих температурах.....	8
1.2 Вплив легування на опір матеріалів абразивному руйнуванню при високотемпературній корозії.....	11
2 Матеріали і методики дослідження.....	16
2.1 Матеріал і методи контролю.....	16
2.2 Зносостійкість при високих температурах.....	17
2.3 Математична обробка експериментальних даних.....	18
3 Результати досліджень та їх обговорення.....	22
3.1 Аналіз умов роботи і причин виходу з ладу деталей печей спікання.....	22
3.2 Розробка раціонального складу зносостійких сплавів для робіт в умовах високотемпературної корозії.....	29
4 Економічна частина.....	41
4.1 Актуальність теми з позиції маркетингу.....	41
4.2 Напрямки застосування.....	42
4.3 Розрахунок кошторису витрат на проведення науково-дослідницької роботи.....	44
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	54
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	54
5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки.....	55
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	59
5.4 Заходи з пожежної безпеки.....	61
5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях	63
Висновки.....	66
Перелік джерел посилання.....	68
Додаток А.....	72

ВСТУП

Постійна інтенсифікація процесів видобутку і переробки руд корисних копалин потребує істотного збільшення надійності і довговічності роботи деталей гірничо-збагачувального устаткування, особливо тих, що працюють в умовах абразивного зношування при температурах до 1100 °С.

За нашого часу на підприємствах металургії такі деталі виготовляють з високолегованих аустенітних і аустеніто-феритних сталей марок 35Х18Н24С2Л, 35Х23Н7СЛ і 40Х24Н12СЛ. Встановлено, що ці марки сталі не задовільняють існуючі умови експлуатації, інтенсивно окислюються і руйнуються під дією абразивного середовища.

Термін служби таких деталей устаткування термічної обробки матеріалів, печей спікання сировини (броні, граничні плити, безболтові полки, футеровки й ін.) складає не більш 2-6 місяців. Через великі простой, зниження продуктивності підприємства несуть великі збитки. Так простій печей спікання глинозему складає близько 70% від загальної кількості відмовлень з вини зносу і поломок вище означених деталей, що працюють при високих температурах (900-1000°С) у складних умовах абразивно-корозійного зношення.

Аналіз експлуатації серійних литих деталей, виготовлених з високолегованих аустенітних і аустеніто-феритних сталей марок 35Х18Н24С2Л, 40Х24Н12СЛ, 35Х23Н7СЛ показав, що їхнє руйнування відбувається по місцях розташування легкошлавких з'єднань нестехіометрического складу, що формуються на границях і прикордонних областях зерен металевої матриці. У процесі тривалої високотемпературної експлуатації (більш 10000 годин) вони сприяють формуванню порожнеч і тріщин у структурі металу, що в умовах інтенсивного абразивного зношування (зусилля дії абразиву не більш 20 КПа) приводять до руйнування деталей.

В літературі практично відсутня інформація стосовно зносо-корозійностійких високотемпературних сплавів. У зв'язку з цим, для підприємств метатургії виникла необхідність розробки економнолегованих сплавів зі стійкою структурою, що володіють комплексом підвищених фізико-хімічних, механічних і спеціальних властивостей за нормальних та високих (до 1100 °C) температур в умовах інтенсивного зношування.

У зв'язку з вище викладеним, дана робота присвячена вивченню питання високотемпературної зносостійкості матеріалів і розробці сплавів зі стабільно стійкими структурами, які б не містили дефіцитних і коштовних легуючих (зокрема, нікелю), але володіли б високим комплексом фізико-хімічних, механічних і спеціальних властивостей.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Зношування сплавів при високих температурах

Температура - один з найважливіших показників, що істотно впливає на процеси, які відбуваються в поверхневих шарах металу при абразивному зношуванні. Специфічні явища, що протікають при зношуванні в умовах високих температур (700 – 1100 °C), поки що мало вивчені.

Механічний вплив на поверхню матеріалу характеризується локальністю і багаторазовістю прикладення навантаження. У тонкому поверхневому шарі при високій температурі утворюється зона, де одночасно протікають пластична деформація, рекристалізація, окислювання і відшаровування оксидної плівки [1-4].

Корозійно-механічне зношування не є процесом простого сумування корозійного і механічного факторів. Воно являє собою складне явище, у якому корозійний хімічний вплив є основою стомленого руйнування. Зношування ж у свою чергу активізує протікання хімічної корозії.

Думки авторів, що вивчали високотемпературну зносостійкість, досить суперечливі.

У встановлених залежностях зносостійкості від температури і тривалості іспитів, показано, що знос з підвищенням температури збільшується [1]. Як правило, високі температури, порушуючи рівноважний стан металу, приводять до розриву міжатомних зв'язків і сприяють пластичній деформації зерен, прилеглих до поверхневого шару. Якщо метал зазнає деформаційного впливу. Зростаючі деформації сприяють процесу зношування.

Костецкий Б.І і ін. [2] пропонують таку модель зносу матеріалів при високих температурах:

- 1) пластична деформація (текстурування);
- 2) структурна і термічна активація металу;

3) утворення вторинних структур і їх руйнування.

Цей знос може бути класифікований як механічне зношування при пластичному деформуванні.

Здатність металу підвищувати характеристики міцності і твердості, при збереженні високих значень пластичності, може забезпечити максимальну зносостійкість при високих температурах.

У промисловості для досліджуваних умов експлуатації застосовують сталі і сплави зі стабілізованими аустенітними і феритними структурами.

Широке поширення одержали дисперсійотвердіючі сталі, гетерогенезація структури яких у результаті утворення надлишкових вторинних фаз з пересиченого твердого розчину приведе до зміцнення і підвищення твердості металу.

Автори [3,4] рекомендують використовувати сплави з аустенітною структурою, де шляхом уведення таких елементів як титан, ніобій, вольфрам і ін. забезпечується висока зносостійкість за рахунок формування з'єднань типу карбідів, карбонітридів і ін. Однак область застосування таких сплавів обмежена температурами розчинення досліджуваних з'єднань (850-900°C), перехід яких у твердий розчин металу призводить до різкої втрати зносостійкості. При короткочасному контакті з високотемпературним середовищем чи матеріалом (прокатні валки, склоформуєчий інструмент і ін.), рекомендуємі сплави показують максимальну експлуатаційну стійкість.

Є дані про застосування в умовах тривалої роботи (3000-9000 годин) при високих температурах феритних сплавів. Дослідженнями авторів [5,6] встановлене збільшення твердості і міцності таких сплавів при тривалій високотемпературній витримці, що сприяє підвищенню зносостійкості при абразивному впливі.

У літературі це питання вивчене недостатньо і єдиної думки про процеси, що відбуваються в металі, немає.

Так, у роботі авторів Бабакова А.А., Приданцева М.В. [7] встановлено, що тривала витримка феритних сталей (X25, X28) при температурах 900-

1000°C сприяє росту зерна в результаті процесів збиральної рекристалізації. Транскристалітна структура сприяє зниженню пластичності і збільшенню параметрів міцності і твердості, хоча в роботі [3] показано, що в розглянутому інтервалі температур параметри пластичності значно збільшуються ($\delta = 100\%$, $\psi = 120\%$), а міцність знижується.

Корольов М.Л. [8] відзначає особливість хромистих сплавів у процесі експлуатації насичуватись азотом. Атоми азоту, за рахунок утворення фаз втілення (нітридів, карбонітридів), що мають високу термостабільність (до температури 1270°C), зміцнюють структуру металу.

Гаврилін І.В. і ін. [9] спостерігали у феритних сплавах виділення комплексу з'єднань нітридів, карбонітридів, оксикарбонітридів і інтерметалідів (σ - фаза), це дозволило рекомендувати зносостійкі матеріали для роботи при температурах до 1100°C.

У літературі мало вивчене питання про вплив оксидної плівки металу на опір абразивному зношуванню. Оксидна плівка, за даними Кащєва В.Н. [10], не впливає на зносостійкість. При температурах дослідження менших за 400°C її утворенням можна знехтувати. Однак, якщо розглядати роботу сплавів при високих температурах до 1000°C, то захисна плівка виконує функцію своєрідного бар'єру, що дозволяє зберегти характеристики металу і визначає параметри сплавів при їх зношуванні.

За даного часу для більш глибокого вивчення цього питання розробляється спеціальне устаткування, яке дозволяє вивчити і більш глибоко зрозуміти механізм високотемпературного зношування [11].

1.2 Вплив легування на опір матеріалів абразивному руйнуванню при високотемпературній корозії

Для роботи в умовах абразивного зношування при високотемпературному впливі необхідне застосування високолегованих сплавів, де вирішальним фактором є рівень їх легування (C, Cr, Si, Ni).

Вуглець - елемент, який переважно впливає на структуру металу в порівнянні з іншими складовими. Встановлено, що сплави, які містять вуглець у вільному вигляді (графіт) в умовах абразивного впливу, мають низькі показники зносостійкості через мінімальну твердість.

Широке застосування в промисловості знаходять сплави, де вуглець утворює дисперсні хімічні сполуки, що мають значну твердість, порівнянну з твердістю абразивних матеріалів, які використовуються у промисловості. Зростаюча кількість вуглецю в сталі до 1,2% збільшує міцність сплавів. Подальше підвищення вмісту вуглецю до 4% приводить до зниження цього показника, при цьому сплави стають дуже крихкими і через це не знаходять застосування. Однак, у ряді наплавочних матеріалів граничні концентрації вуглецю можуть досягати до 5,2% [12].

Дослідженнями Кашеева В.Н., Корольова М.Л. [8, 10] встановлено найбільш інтенсивне підвищення зносостійкості при вмісті вуглецю в межах 0,8-1,1%. У роботі [13] рекомендується вміст вуглецю в межах 2,2-2,3%, коли внаслідок більш високого вмісту карбідів (до 40%) сплави мають максимальний показник твердості (HRC 62-64). Проте, відома низька стійкість цих сплавів як жаростійких матеріалів, а також висока схильність їх до утворення гарячих тріщин, що знижує термін служби деталей.

Ряд робіт [3,5] показує, що в якості зносостійких застосовують жаростійкі і жароміцні дисперсійно-твердіючі сплави, при вмісті в них вуглецю 0,3-0,8%. Функції елемента, що утворює високоміцні фази втілення,

додатково виконують молібден, ванадій, титан і ін., які утворюють інтерметалідні з'єднання (фази Лавеса, оксиди, нітриди).

За даними Гудремона Е. [14] середній вміст вуглецю для найбільш зносостійких сплавів складає 0,6-1,8%.

Визначення концентрації вуглецю, що забезпечує оптимальне співвідношення абразивної зносостійкості і тривалої жаростійкості, є актуальною задачею науки і вимагає уточнення.

Хром вводять в зносостійкі сплави для одержання необхідного рівня властивостей і термічно стійкої структури. З підвищенням вмісту хрому (до 32%) розчинність вуглецю в матриці сплаву зменшується, що полегшує виділення карбідних фаз і збільшує ступінь стійкості твердого розчину високохромистого ферита.

Думка дослідників що до впливу оптимальних концентрацій хрому на абразивну зносостійкість неоднозначна. Рекомендуються до застосування сплави з евтектичними складами, що містять відповідно 5; 13; 25% хрому і 3,9; 3,7; 3,0 % вуглецю [15] з аустеніто-карбідною структурою. Однак, евтектичні колонії тим дрібніші, чим менший вміст вуглецю в сплаві (0,8-1,2%); найбільш дрібні колонії спостерігаються в сплавах при вмісті хрому 30%. Збільшення концентрації хрому більш 34% при вмісті вуглецю 1,2-2,2% знижує зносостійкість сплавів, металева основа яких складається з фериту [16].

У сталях, які дисперсійно-твердіють, що зношуються при температурах 500-850°C, вміст хрому рекомендується 18-25% при співвідношенні аустеніт-ферит 30/70; 50/50; 70/30 %.

Витрати маси металу при високотемпературному (до 1300°C) зношуванні мінімальні при вмісті 35% хрому і 0,5-2,5% вуглецю. Структура такого сплаву складається з легованого хромистого фериту і комплексних карбідів типу $M_{23}C_6$ і M_7C_3 [17]. У працях Гаврилюка В.П., Хаустової Л.В. та ін. висока зносостійкість досягається при сумісному легуванні хромом (до 34%), молібденом (2,0%) і кремнієм (до 2,0%). Проте, при дослідженні

впливу комплексу легуючих елементів на абразивний знос Богачев І.Н. відмічає, що хром разом з молібденом, марганцем, кобальтом не підвищує зносостійкість ферриту і тільки кремній сприяє його підвищенню. При зношуванні деталей в умовах високих температур необхідно враховувати вплив додатково діючих факторів (окислювання, насичення продуктами корозії і т.д.).

Інші автори [18], вивчаючи комбіноване абразивно-корозійне зношування хромомістких сталей показали істотний вплив хрому на кінетику зносу. При низькій частоті впливу абразивних часток підвищену стійкість мають сталі зі зниженим вмістом хрому (до 14%), при високій частоті – високохромісті (до 30%).

Для вибору раціональних кількостей хрому необхідна оптимізація складу сплаву з урахуванням впливу вуглецю на параметри зносостійкості і жаростійкості.

Кремній – застосовують для зносостійких сплавів у широкому інтервалі концентрацій 0,4-15,0%. Будучи елементом, що одночасно підвищує міцність, твердість і поліпшує захисні функції при окислюванні металу, кремній обмежено розчиняється в α і γ -залізі, активно звужує область аустеніту. При концентраціях більших за 3% кремнію спостерігається тенденція до виділення інтерметалідних з'єднань, багатих кремнієм – складних силіцидів, які через високу крихкість обмежують застосування матеріалів у промисловості і можуть використовуватись тільки в спеціальних сплавах (феросіліди, сілалі, сендасти).

Кремній утворює нестійкі карбіди і, як правило, концентрується у твердому розчині. Ця особливість дозволяє невеликими його кількостями при легуванні в межах 0,8 - 2,5% вирішувати проблеми міцності і зносостійкості [19].

Робіт відносно впливу кремнію на зносостійкість виконано відносно небагато, особливо при високих температурах. Так, для високовуглецевих сталей типу 50Г, 55ГЛ встановлено, що присадка кремнію до 2% підвищила

значення зносостійкості в 1,6 разів. У жаростійких, жароміцних, зносостійких сплавах з комплексами дисперсних карбідів концентрація кремнію складає 1,0-3,0% [3]. Збагачення кремнієм навколокарбідних зон утруднює дифузію вуглецю, що перешкоджає коагуляції карбідів, що забезпечують опір зношуванню [14].

Відома здатність кремнію підсилювати схильність сталей до теплової крихкості [5], у зв'язку з чим його вміст обмежується 2,7%. Кремній підсилює перерозподіл карбідної фази при тривалих високотемпературних витримках, де зосередження карбідів поблизу міжзеренних границь приводить до втрат сплавами структурної стабільності. У зв'язку з цим питання оптимального вмісту кремнію при спільному легуванні з вуглецем і хромом вимагає уточнення.

Вплив нікелю, як аустеніто-стабілізуючого елемента на зносостійкість при високих температурах і розглянутих структурних складових, неоднозначний. При вмісті в межах 0,8-3,5% нікелю для феритних структур спостерігається підвищення міцності при одночасному поліпшенні в'язкості. Утворення фаз втілення сприяє стабілізації структури, значно сповільнюючи процеси збиральної рекристалізації при високих температурах, що підвищує тріщиностійкість і здатність металу до передеформуванню. Збільшення рухомості дислокації сприяє зменшенню концентрацій напруг в наслідок їх релаксації. Вміст нікелю в більшості зносостійких сплавів за ГОСТ і ДЕСТ знаходиться в межах 0,8-25,0%. Збільшення вмісту нікелю стабілізує аустеніт у сплавах, які при високій міцності і пластичності після відповідної термічної обробки, що забезпечує дисперсійне твердіння, можуть рекомендуватися для роботи в умовах абразивного зношування при температурах 550-850°C. При температурах більших за 850°C зносостійкість сплавів знижується, що пов'язано з процесами зворотнього розчинення дисперсних утворень (карбідів, інтерметалідів) і переходом їх у твердий розчин аустеніту.

Таким чином, при розробці високотемпературних абразивостійких сплавів застосування нікелю дуже перспективне при оптимізації складу багатокомпонентної системи Fe-C-Cr-Si-Ni.

Таким чином, основною умовою, що забезпечує надійність і довговічність гірничо-збагачувального устаткування, яке експлуатується при високих температурах, є диференційований підхід до вибору сплавів для деталей, що швидко зношуються.

Для умов малонавантаженого абразивно-корозійного зношування при дії високих температур 900-1100°C доцільно застосування зносожаростійких сплавів зі стабільними і стійкими структурами. Високий рівень властивостей зносокорозійної стійкості сплавів для деталей устаткування спікання матеріалів може бути забезпечений, насамперед, за рахунок раціональних варіантів легування (C, Cr, Si, Ni).

2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Матеріал і методи контролю

Литі сталі марок 35X18H24C2Л, 40X24H12CЛ, 35X23H7CЛ, традиційно використовуються в промисловості для умов одночасного впливу зношування і високих температур (900-1100°C).

Плавки серійного досліджуваного металу проводили в електродугових (ємкістю 0,5-12,0 т) та індукційних (ємкістю 0,01-0,4т) печах з основною та кислою футеровками. В якості шихтових матеріалів застосовували середньовуглецевий лом та стандартні феросплави.

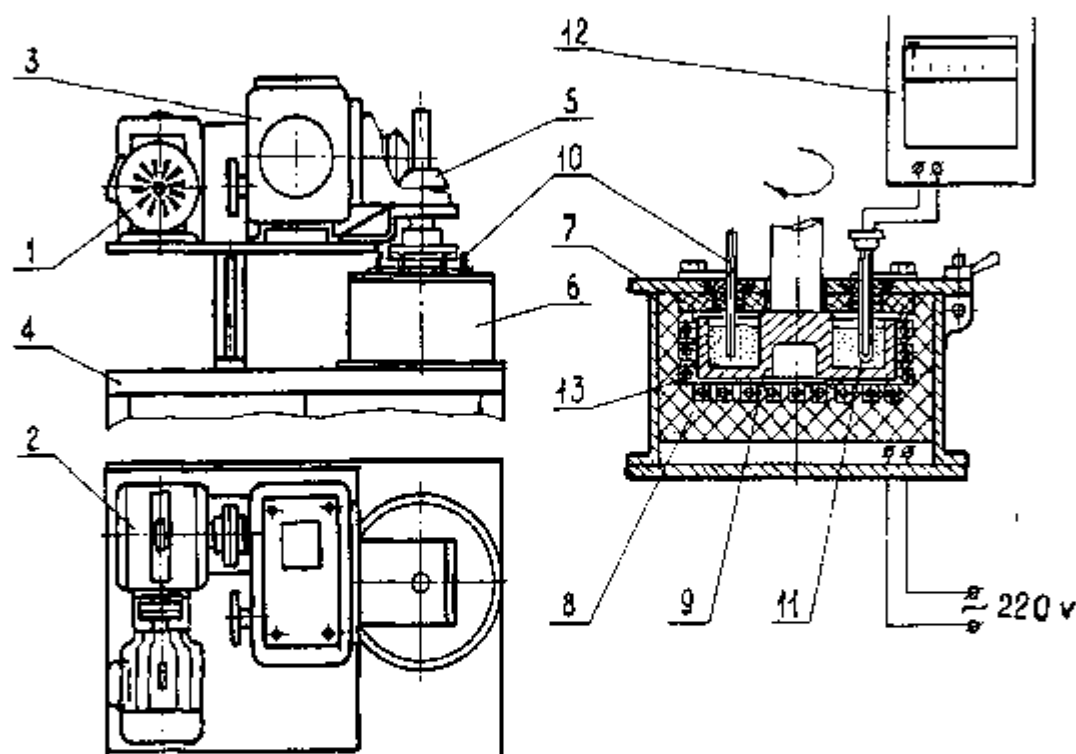
Для одержання концентраційних залежностей впливу елементів на властивості сплавів при проведенні дослідних плавок застосовували порціонний метод відбору металу з печі, що дозволило виключити вплив сторонніх факторів і одержати більш достовірні результати.

Контроль хімічного складу сплавів здійснювали хімічним і спектральним методами з використанням приладів "СAMEBAX", "LINC" (Франція). Для уточнення особливостей структури застосовували рентгеноструктурний аналіз з використанням дифрактометра УРС-50 ІМ. Контроль вмісту газів здійснювали на установках ПВП-2 ЦНДІЧМ та "Leko" (Франція).

Механічні властивості і жаростійкість вивчали на зразках виготовлених з литих заготовок за ГОСТ-977-88 чи безпосередньо з металу деталей за стандартних методик відповідно до ГОСТ 6130-71.

2.2 Зносостійкість при високих температурах

Високотемпературну абразивну зносостійкість визначали з застосуванням сировини промислової переробки (а саме, глиноземного виробництва, фракція 1-3мм) на установці прискорених іспитів ЗМІ-1 ТЛП, розробленої в університеті (рис. 2.1).



1 – двигун; 2 – редуктор; 3 – варіатор; 4 – стіл; 5 – конічна пара; 6 – піч ;
7 – кришка; 8 – термокамера; 9 – чаша; 10 – зразок; 11 – термopapa (ПП-АН-1); 12 – потенціометр (КСП-4); 13 – нагрівальні елементи.

Рисунок 2.1 – Установа прискорених іспитів на абразивний знос при високих температурах (ЗМІ-1 ТЛП)

Установа за допомогою приводної системи, що складається з двигуна 1, редуктора 2, варіатора 3 і конічної пари 5, змонтованій на столі 4, забезпечує обертання чаші 9, яка поміщена в термокамеру печі 6.

Досліджували зразки 10, що розосереджені по установочному діаметру, нерухомо закріплені на кришці 7. Зразки діаметром 10мм і довжиною 100мм (по два від кожного варіанту) фіксовано заглиблювали (на 30мм) в абразивне середовище. Перед встановленням в установку зразки знежирювались і зважувались з точністю до 0,0001г.

За допомогою нагрівальних елементів 13, змонтованих в термокамері 8, підтримували високу температуру. Контроль регулювання температури здійснювали потенціометром 12 і змонтованою на кришці печі в захисному корпусі термопари 11. Час дослідження 8 годин.

В якості еталону використовували хромонікелеву сталь 40Х24Н12СЛ (ГОСТ 977-88).

Після проведення досліджень металічну поверхню зразків очищували від окалини шляхом електрохімічної обробки в розплаві хромистого електроліту при $t=20^{\circ}\text{C}$. Довготривалість обробки до повного видалення продуктів корозії 20 хв.

Відносну зносостійкість визначали за формулою:

$$E = \frac{\Delta P_{ET}}{\Delta P_{IP}} \quad (2.1)$$

де ΔP_{ET} і ΔP_{IP} – втрати маси відповідно еталонного і дослідного зразків.

2.3 Математична обробка експериментальних даних

Для аналізу отриманих експериментальних даних і пошуку оптимуму властивостей досліджуваних металів, використовували комплексний показник якості - узагальнену функцію бажаності [11], що представляє собою середнє геометричне бажаності окремих параметрів оптимізації:

$$D = \sqrt[q]{d_1 \cdot d_2 \cdot d_3 \dots d_q} \quad (2.2)$$

де q – число досліджуваних параметрів оптимізації;

$d_1 - d_q$ – бажаний рівень якості параметра оптимізації.

Бажа́ний ріве́нь яко́сті пара́метра оптиміза́ції (d_i) визна́чали з використанням спеціальної шкали бажаності, де величина змінюється від 0 до 1:

1,00 – максимально можливий рівень якості;

1,00-0,80 – припустимий і чудовий рівень якості;

0,80-0,60 – припустимий і гарний рівень якості;

0,60-0,37 – припустимий і достатній рівень якості;

0,37-0,00 – неприпустимий рівень якості;

0,00 – максимально небажаний рівень якості.

Кожен рівень показників властивостей сплавів (параметр оптимізації) пересводили у відповідні бажаності $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6$, за допомогою рівнянь:

$$d_i = e^{-\left(e^{y'_i}\right)} \quad (2.3)$$

$$d_i = e^{-\left(y'_i\right)^n} \quad (2.4)$$

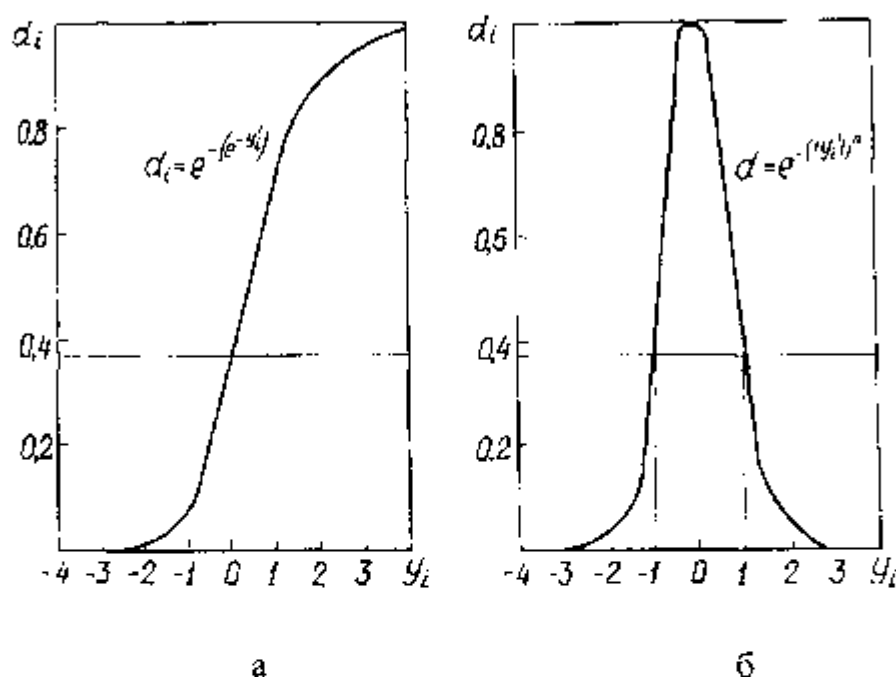
де n – позитивне число, що визначали рівнянням:

$$n = \frac{\ln\left(\ln\frac{1}{d}\right)}{\ln|y'|} \quad (2.5)$$

Значення y' визна́чали з рівняння:

$$y'_i = \frac{2y_i - (Y_{\max} + Y_{\min})}{Y_{\max} - Y_{\min}} \quad (2.6)$$

Графічно функції $d_i = e^{-\left(e^{y'_i}\right)}$ і $d_i = e^{-\left(y'_i\right)^n}$ показані на рис. 2.2.



а – графічне зображення однобічного обмеження параметрів функції

бажаності $d_i = e^{-\left(e^{y'_i}\right)}$

б – графічне зображення двостороннього обмеження параметрів функції

бажаності $d_i = e^{-\left(y'_i\right)^n}$

Рисунок 2.2 – Функції бажаного рівня якості параметрів оптимізації

Розраховані значення узагальнених параметрів бажаностей (D) використовували для одержання єдиної математичної моделі (F_D) спільного впливу досліджуваних факторів. Отриману модель (цільову функцію), після аналізу її адекватності, оптимізувати. Рішення задачі оптимізації – перебування екстремума цільової функції і відповідні йому максимальні і

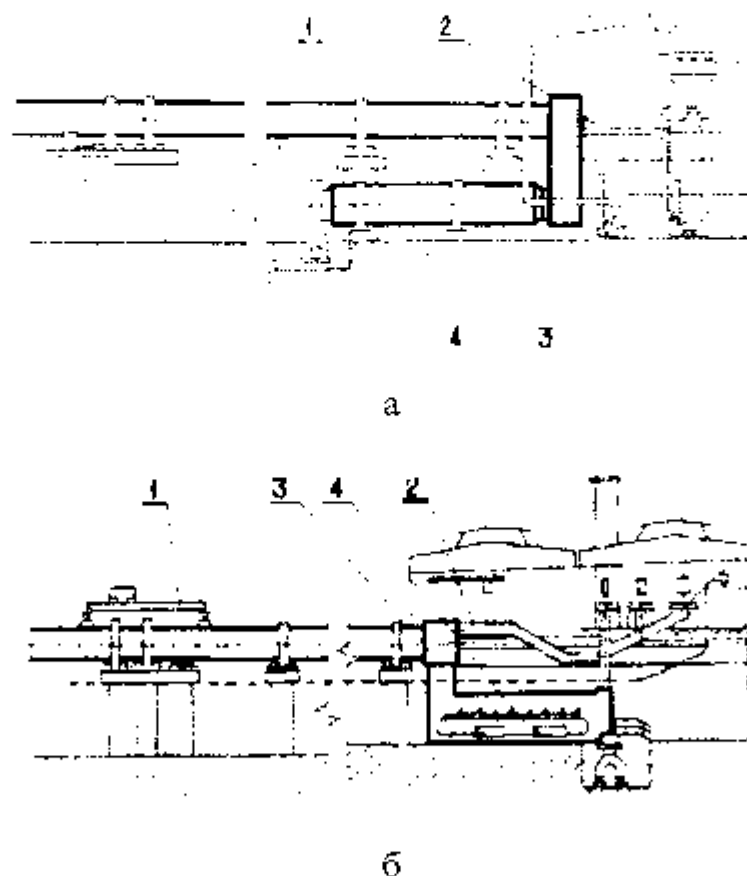
мінімальні значення аргументів, здійснювали модифікованим симплекс-методом.

Математичну обробку експериментальних даних забезпечували з використанням програм «CALL PLANEX» і «MODSIMPL».

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1 Аналіз умов роботи і причин виходу з ладу деталей печей спікання

Однією з основних технологічних операцій при виробництві сировини в глиноземній промисловості є термічна обробка бокситів при температурах 900-1100°C. Ця технологія передбачає використання барабаних обертових печей спікання з холодильними пристроями продуктивністю 150 тонн у годину (рис. 3.1).



а - з холодильником барабанного типу; б - з холодильником колосникового типу.

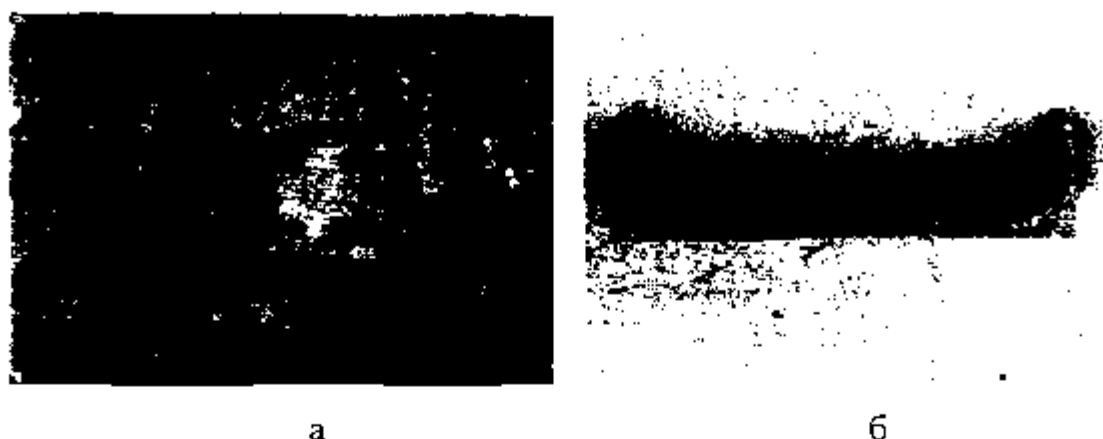
1- піч; 2- пальник; 3- стояк; 4- холодильник.

Рисунок 3.1 – Піч спікання глинозему

У печі сипкий матеріал рухається назустріч гарячому потоку газу, працюючого пальника, термообробляється (спікається) і охолоджується. Часточки спікаемого матеріалу переміщуються по похилій поверхні за рахунок періодичного зсипання верхнього клину маси при досягненні ним кута природного скосу ($\alpha=10-15^\circ$). Шари матеріалу, що рухаються, (товщина 200-300 мм), контактують зі стінками деталей печі, діють із зусиллям до 20 КПа без ударних навантажень. Розглянутий процес впливу часточок спеку глинозему можна розглядати як малонавантажений абразивний знос.

Склади бокситів і одержуваний спек глинозему різноманітні (масова частка елементів складає: 43-50% Al_2O_3 , 6-9% Al_2O , 6-8% Na_2O , 4-6% CaO , 8,2-10,1% SiO_2 , 17,4-21,6% Fe_2O_3 , 1,4-3,1% MgO , 0,4-0,9% S, 1,9-3,0% CO_2 , 3,6-4,4% H_2O) і як правило містять комплекс високотвердих часточок. Мікротвердість часточок знаходиться в межах 9-11 ГПа, Нр. Часточки мають окатану форму (коефіцієнт форми – $K_f=8-10$) розміром 0,1-6,0 мм. Лужний модуль матеріалу дорівнює 1,0; вапняний модуль – 2,0; вологосмість складає 13%, пористість – 20%. Безперервна дія часточок сировини, яка є хімічно агресивним середовищем, підсилює високотемпературну корозію металу деталей у результаті порушення суцільності захисної оксидної плівки, а переміщення великих мас абразивних матеріалів протягом тривалого часу (більш 6000 годин) прискорює ці процеси.

При роботі в складних умовах високотемпературного абразивно-корозійного зношування литі деталі печей спікання глинозему (броні, безболтові полки, футеровки й ін. (рис 3.2)), виготовлені зі сталей 35Х18Н24С2Л, 40Х24Н12СЛ, 35Х23Н7СЛ, мають низький термін служби від 2 до 6 місяців і значні поломки (7%). Простоювання термічних печей через низьку стійкість деталей приводить до зниження продуктивності устаткування, позаплановим ремонтам, великим витратам.



а – порогова плита; б – безболтова полка.

Рисунок 3.2 – Деталі печей спікання глинозему

Аналіз механічних і спеціальних властивостей сталей, що відпрацювали номінальний термін служби (табл. 3.1) показав, що значення межі міцності на розтягання, показники твердості після іспитів за нормальних ($t=20^{\circ}\text{C}$) і високих температур ($t=1000^{\circ}\text{C}$) відповідали вимогам ГОСТ 977-88. Однак при експлуатації ці характеристики значно знижувалися, що є наслідком необоротних перетворень, які відбуваються в структурі металу (рис.3.3).



а - до експлуатації; б - після експлуатації

Рисунок 3.3 – Мікроструктура сталі 40X24N12СЛ (х 400)

Таблиця 3.1 – Механічні і спеціальні властивості сталей, які застосовувались для відповідальних деталей печей спікання глинозему

Марка сталі	Структура	Механічні і спеціальні властивості сталей				
		Межа міцності на розтягання при $t=20^{\circ}\text{C}$ σ_B , МПа	Межа міцності на розтягання при $t=1000^{\circ}\text{C}$ σ_B 1000°C, МПа	Твердість при $t=20^{\circ}\text{C}$ НВ, МПа	жаростійкість (показник корозії), $h_{\text{ум}}, 10^{-6}\text{м}$ втрачі маси металу при $t=1000^{\circ}\text{C}$, G , г/м ² ·ч	
35X18H24C 2Л	A-K	<u>538-541</u> 376-398	129-138	<u>1610-</u> <u>1630</u> 1350- 1400	4,6-7,2	1,53- 2,11
40X24H12C Л	A+Φ+ K	<u>490-503</u> 401-426	115-126	<u>1740-</u> <u>1760</u> 1500- 1570	3,5-4,1	1,09- 1,45
35X23HC7Л	Φ+A+ K	<u>540-548</u> 432-445	121-135	<u>1750-</u> <u>1780</u> 1620- 1640	2,5-3,2	0,81- 0,98

Чисельник – значення параметрів до експлуатації; знаменник – значення параметрів після експлуатації.

Жаростійкість сталей змінювалася в широких межах від 2,5 до $7,2 \times 10^{-6} h_{\text{ум}}$. При цьому структурні перетворення супроводжувалися

виділенням швидкоокислюючих з'єднань, кількість яких збільшувалась в умовах тривалої роботи деталей.

Металографічним, петрографічним і мікрорентгеноспектральним аналізами сталей встановлене виділення по межах грубозернистої (60-120 мкм) аустенітної матриці легкоплавкої фази. Ця фаза характеризується металевою складовою з розподіленими в ній дисперсними метастабільними карбідами (субкарбідами) типу $[(Me_xC_y) (Me_xO_y)]$. Мікротвердість досліджуваних субкарбідів (табл. 3.2) значно нижча відомих з'єднань типу $(Fe,Cr)_{23}C_6$ і $(Fe,Cr)_7C_3$ (Нц, відповідно 13,0 ГПа і 18,5 ГПа).

Таблиця 3.2 – Мікротвердість досліджуваних фаз сталі марки 40X24H12СЛ

Зона виміру	Мікротвердість Нц, МПа
Зерно аустеніту	<u>3390-2760</u>
	3050
Межа зерна	<u>3780-3390</u>
	3680
Прикордонна фаза	<u>4820-3390</u>
	4010
Прикордонна фаза, що містить дисперсні з'єднання карбідів і оксидів	<u>6360-4260</u>
	5510

Чисельник – максимальні і мінімальні значення; знаменник – середні значення.

Поряд із субкарбідами в складі сумішей виявлена присутність з'єднань нестехіометричного складу (субоксиди): монооксид кремнію (SiO), якому відповідають оптичні константи $No = 2,15, Ne = 2,06$ і алюмінію (Al_2O), де $No = 2,19, Ne = 2,13$, що істотно відрізняються від відомих з'єднань типу SiO_2 ($No = 1,53; Ne = 1,55$) і Al_2O_3 ($No = 1,76; Ne = 1,78$). Визначення оптичних констант No, Ne здійснювали з використанням стандартних емерсійних

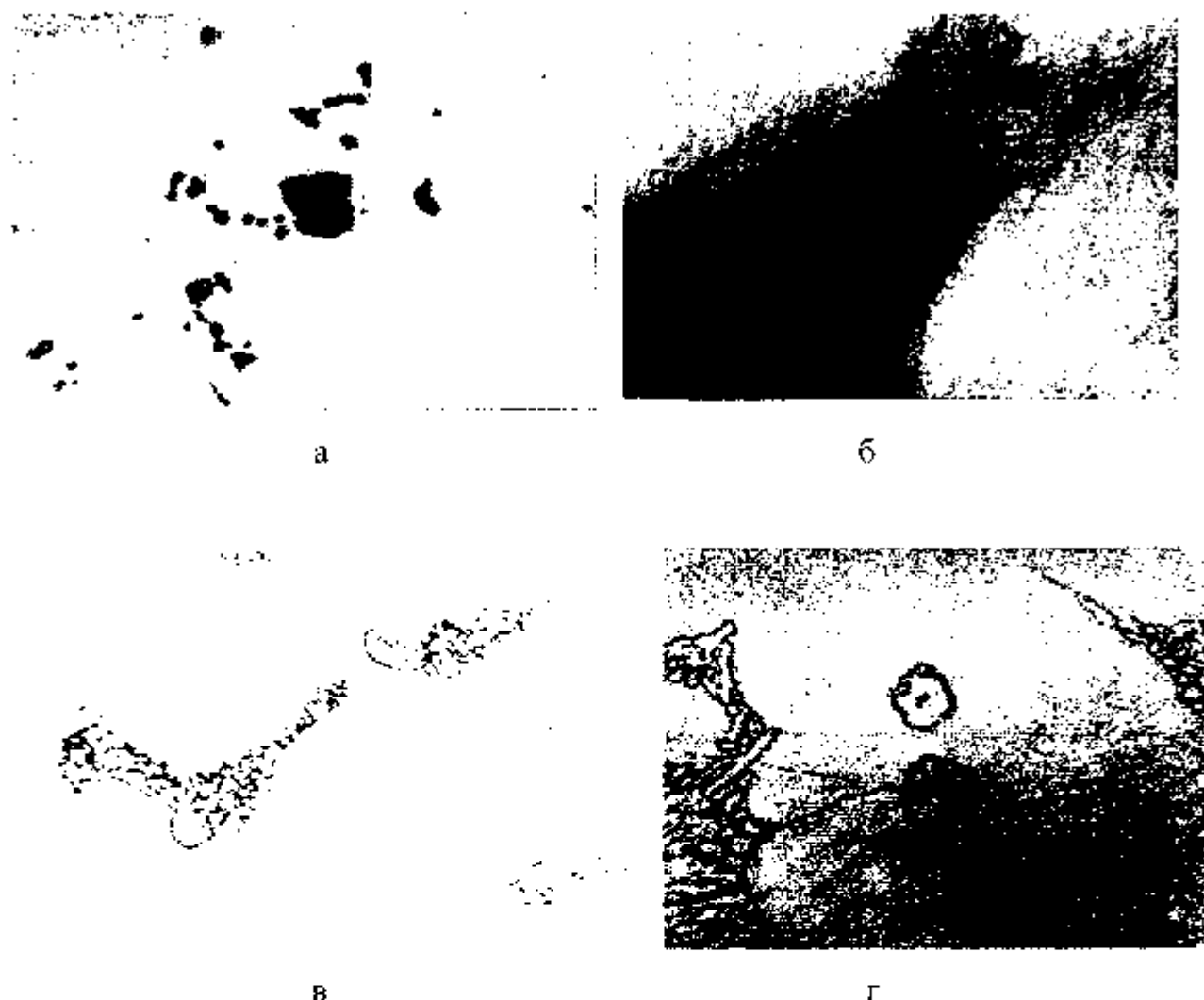
рідин по таблицях у довідковій літературі. Характерною особливістю цих фаз є відсутність у їхньому складі включень кристалічного окису алюмінію Al_2O_3 – звичайного продукту реакцій розкислення. Наявність же нижчих оксидів у структурі металу свідчить про відновлювальні властивості середовища внаслідок надлишку введеного розкислювача.

Ці з'єднання помітно знижують міцність і пластичність сталей (табл. 3.2). Крім того, низька температура плавлення досліджених фаз сприяє інтенсивному окислюванню металу і, як наслідок, абразивному зношуванню деталей при високих температурах.

Аналогічні особливості виявляються й у сталей 35X18H24C2Л, 35X23H7СЛ. Таким чином, на підставі проведеного аналізу, механізм руйнування досліджуваних сплавів можна представити наступним:

При нагріванні металу до 1000°C субкарбіди (кремнію, хрому, алюмінію і ін.), що знаходяться в складі прикордонної легкоплавкої фази (рис.3.4), стають газоподібними і поверхнево-активними. Частина з'єднань розчиняється в металі, частина возгоняється. В місцях руйнування з'єднань з'являються пори і знеуглецьовані зони, які через вплив термонапружень приводять до утворення тріщин. Руйнування і сублімація з'єднань змінюється окисними процесами матриці металу з формуванням з'єднань вищих валентностей. При цьому стінки пор, що утворилися, і його знеуглецьовані зони також починають інтенсивно окислятися. Поверхня металу і його внутрішні ділянки перетворюються в суцільні оксидні плівки (окалини), які під дією абразивного середовища інтенсивно руйнуються, відлужуються і викришуються.

Таким чином, наявність неметалевих включень нестехіометричного складу і легкоплавкої окискарбідної фази межах зерна аустенітної і аустеніто-феритної структури в сталях (35X18H24C2Л, 35X23H7СЛ і 40X24H12СЛ) приводить до зниження фізико-механічних і спеціальних властивостей, інтенсивному високотемпературному руйнуванню, а отже і передчасному виходу литьх деталей з ладу.



а – субкарбіди; б - субоксиди хрому; в - субоксиди кремнію; г - оксикарбідна суміш.

Рисунок 3.4 – З'єднання легкоплавкої фази (х 400)

При цьому, слід зауважити, що сталі марок 35Х23Н7СЛ і 40Х24Н12СЛ мали менші втрати за масою у порівнянні з аустенітною маркою 35Х18Н24С2Л (табл.4.1).

Аналіз результатів металографічних і експлуатаційних властивостей сталей показав, що для підвищення надійності і довговічності литих деталей печей спікання необхідно використовувати сплави зі стабільно-стійкою високолегованою феритною структурою.

Причому, для гарантованого забезпечення задовільної зносостійкості при високих (до 1000°C) температурах експлуатації сплави повинні мати наступний рівень властивостей: жаростійкість (глибинний показник корозії) $h_{\text{ум}} \leq 4,0 \times 10^{-6} \text{ м}$; порівняльну зносостійкість $\epsilon \geq 1,0$ при $t=1000^\circ\text{C}$; межу міцності на розтягання при $t=20^\circ\text{C}$; $\sigma_B \geq 400 \text{ МПа}$; межа міцності на розтягання при $t=1000^\circ\text{C}$ $\sigma_B \geq 100 \text{ МПа}$; твердість при $t=20^\circ\text{C}$; $2000 \leq \text{HB} \leq 3700$ до і після витримки ($t=1000^\circ\text{C}$) протягом 100 г $1800 \leq \text{HB} \leq 4300 \text{ МПа}$.

3.2 Розробка раціонального складу зносостійких сплавів для робіт в умовах високотемпературної корозії

Для оптимізації складу сплаву за основними елементами (мас. %: вуглець 0,4-1,6, хром - 22,0-32,0 і кремній - 0,7-2,5) використовували відому методику повного факторного експерименту за планом 2^3 . Надалі для пошуку оптимуму властивостей досліджуваних сплавів використовували функцію бажаності, з розрахунком узагальненого показника $D = \sqrt[3]{d_1 \cdot d_2 \cdot d_3}$. Отримані параметри бажаності використовували для формування єдиної математичної моделі (цільової функції) спільного впливу досліджуваних факторів (див. розділ 3).

Лабораторні плавки проводили в індукційній печі ІСТ-0,06 з основною футеровкою. Зразки, що зативались, були досліджені за методиками, які представлені у розділі 2. В якості еталону використовували серійно застосовувану марку сталі типу 40Х24Н12СЛ (ГОСТ 977-88).

Хімічний склад металу досліджуваних плавок представлений у таблиці 3.3.

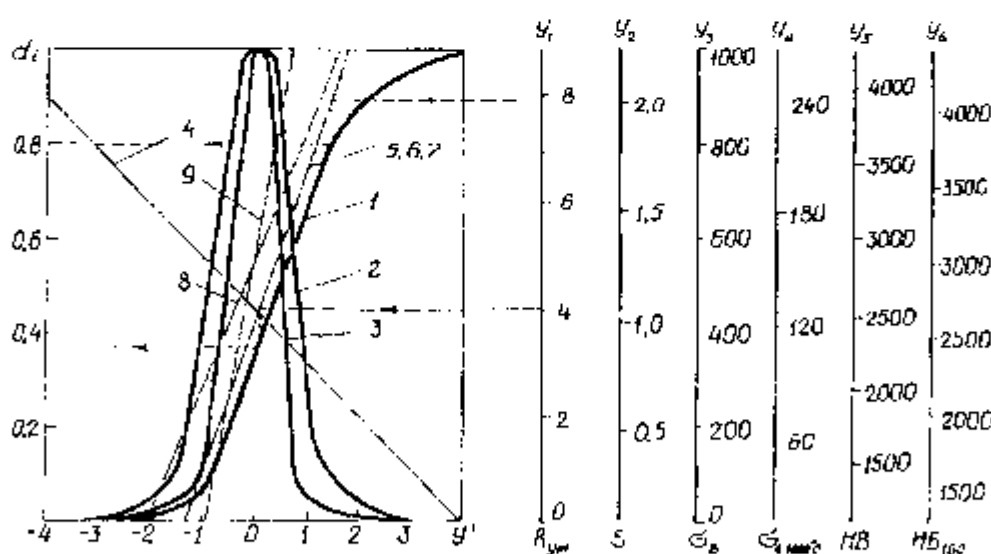
Таблиця 3.3– Хімічний склад металу дослідних плавів

№ п/п	Масова частка елементів, %						
	C	Cr	Si	Ni	Mn	P	S
1	1,78	31,60	2,64	0,41	0,53	0,04	0,03
2	0,19	32,11	2,40	0,24	0,62	0,05	0,04
3	1,69	30,40	0,41	0,32	0,77	0,04	0,03
4	0,22	31,34	0,32	0,37	0,60	0,03	0,04
5	1,84	21,43	2,76	0,43	0,58	0,03	0,02
6	0,20	20,61	2,34	0,20	0,70	0,05	0,04
7	1,87	22,93	0,41	0,34	0,68	0,02	0,03
8	0,26	23,06	0,32	0,21	0,61	0,04	0,05
9	0,94	26,83	1,52	0,26	0,54	0,04	0,02
10	1,03	26,86	1,45	0,20	0,62	0,02	0,03
11	1,11	27,04	1,80	0,35	0,43	0,03	0,03
Еталон	0,29	22,41	1,48	11,32	0,71	0,03	0,04

Для пошуку оптимуму властивостей, отриманих сплавів, досліджували фактори: жаростійкість ($h_{yx} - Y_1$), порівняльну зносостійкість ($\epsilon - Y_2$), міцності ($\sigma_B - Y_3$, $\sigma_{B 1000^\circ C} - Y_4$) і твердості (НВ - Y_5 , НВ 100 - Y_6), а також відповідні їм мінімальні і максимальні значення виражали через бажаний рівень якості (табл. 3.4, рис.3.5).

Таблиця 3.4 – Критерії зносожаростійкості сплавів

Досліджувані параметри	Одиниці вимірювання	Реперні точки		
		Задана величина Y_i	Бажаний рівень якості d_i	Безрозмірна величина
Y_1 (нм)	10^{-6} м	4,0	0,37	0
		0,1	0,98	4
Y_2 (ε)	-	1,0	0,37	0
		2,0	0,80	1,6
Y_3 (σ _B)	МПа	425	0,37	0
		900	0,80	1,6
Y_4 (σ _B 1000°C)	МПа	120	0,37	0
		240	0,80	1,6
Y_5 (HB)	МПа	3700	0,37	1
		2000	0,37	-1



1-функція $d_1 = e^{-\left(\frac{Y_1}{4}\right)^{1,68}}$; 2-функція $d_{15} = e^{-\left(\frac{Y_1}{0,1}\right)^{1,68}}$; 3-функція $d_{10} = e^{-\left(\frac{Y_1}{4}\right)^{2,93}}$; 4-пряма для проведення Y_1 у d_1 ; 5,6,7-пряма для проведення Y_2, Y_3, Y_4 у d_2, d_3, d_4 ; 8,9-прямі для переведення Y_5 і Y_6 у d_5 і d_6 .

Рисунок 3.5 – Номограма переведення контрольованих параметрів сплавів у відповідній бажаності

Експериментальні дані параметрів Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 – які мають одностороннє обмеження, виражали через параметри бажаності d_1, d_2, d_3, d_4 , за допомогою рівняння 2.3 (див. розділ 2). Значення Y_5, Y_6 , з двостороннім обмеженням властивостей, виражали через параметри бажаності d_5 і d_6 , відповідно за допомогою рівняння 2.4. Значення Y_5, Y_6 і p_5, p_6 для відповідних параметрів Y_5, Y_6 згідно рівнянь 3.5 і 3.6 мають вид:

$$Y_5 = \frac{2 \cdot 3200 - 3700 + 2000}{3700 - 2000} = 0,41, \quad (3.1)$$

$$p_5 = \frac{\ln(\ln \frac{1}{q_x})}{\ln(0,41)} = 1,68, \quad (3.2)$$

$$Y_6 = \frac{2 \cdot 3800 - 4300 + 1800}{4300 - 1800} = 0,60, \quad (3.3)$$

$$p_6 = \frac{\ln(\ln \frac{1}{q_x})}{\ln(0,60)} = 2,93, \quad (3.4)$$

У результаті функції двостороннього обмеження параметрів Y_5 і Y_6 , відповідно, мають вид:

$$d_{i5} = e^{-(y_i')^{1,68}}, \quad (3.5)$$

$$d_{i6} = e^{-(y_i')^{2,93}}. \quad (3.6)$$

Лінійний зв'язок між Y_i, Y_i' встановлювали за допомогою реперних точок і забезпечували з використанням спеціальної програми.

Результати дослідження з використанням узагальненої функції бажаності представлені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати досліджень з використанням функції бажаності

Нталон	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	№ п/п
1,27	0,98	1,15	0,91	6,70	7,90	4,89	4,56	4,82	8,69	0,78	3,13	$Y_1 - d_1$
0,94	0,95	0,94	0,95	0,04	0,01	0,14	0,25	0,08	0,01	0,96	0,63	
1,00	1,22	1,25	1,21	0,38	0,98	0,47	1,20	0,52	1,19	0,88	1,29	$Y_2 - d_2$
0,37	0,48	0,50	0,47	0,09	0,36	0,12	0,47	0,15	0,45	0,35	0,48	
520	431	452	449	420	773	324	394	428	354	387	336	$Y_3 - d_3$
0,48	0,37	0,42	0,41	0,36	0,69	0,24	0,33	0,37	0,28	0,32	0,26	
133	118	110	101	041	244	050	077	045	143	108	103	$Y_4 - d_4$
0,40	0,37	0,30	0,27	0,04	0,81	0,06	0,07	0,05	0,10	0,29	0,28	
1640	2780	2690	2650	1560	3210	1870	2850	1870	2550	1560	3630	$Y_5 - d_5$
0,19	0,99	0,98	0,97	0,15	0,80	0,27	0,99	0,27	0,93	0,15	0,45	
1560	3170	3150	31280	1430	4150	1700	2550	1870	3410	2070	4250	$Y_6 - d_6$
0,20	0,98	0,98	0,99	0,05	0,43	0,25	0,87	0,37	0,98	0,54	0,37	
0,36	0,52	0,51	0,50	0,08	0,29	0,17	0,36	0,16	0,22	0,37	0,39	D

Згідно отриманих параметрів бажаностей єдину математичну модель (цільову функцію), що описує функцію відгуку спільного впливу досліджуваних факторів F_D , розраховували відповідно до прийнятої методики (див. розділ 2) із проведенням регресійного аналізу. У результаті цільова функція має вид:

$$F_D = 0,26 + 0,060X_1 + 0,067X_2 - 0,030X_3, \quad (3.7)$$

$$\text{де } X_1 = \frac{C - 1,0}{0,8}; \quad X_2 = \frac{Si - 1,4}{1,1}; \quad X_3 = \frac{Cr - 27,0}{5,0}.$$

Для знаходження максимальних і мінімальних вмістів вуглецю, кремнію і хрому, а також відповідних їм значень цільової функції, використовували модифікований симплекс – метод із застосуванням програми ПЕВМ “MODSIMPL”. Обмеження досліджуваних факторів $U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6$ приймати згідно раніше приведеного аналізу.

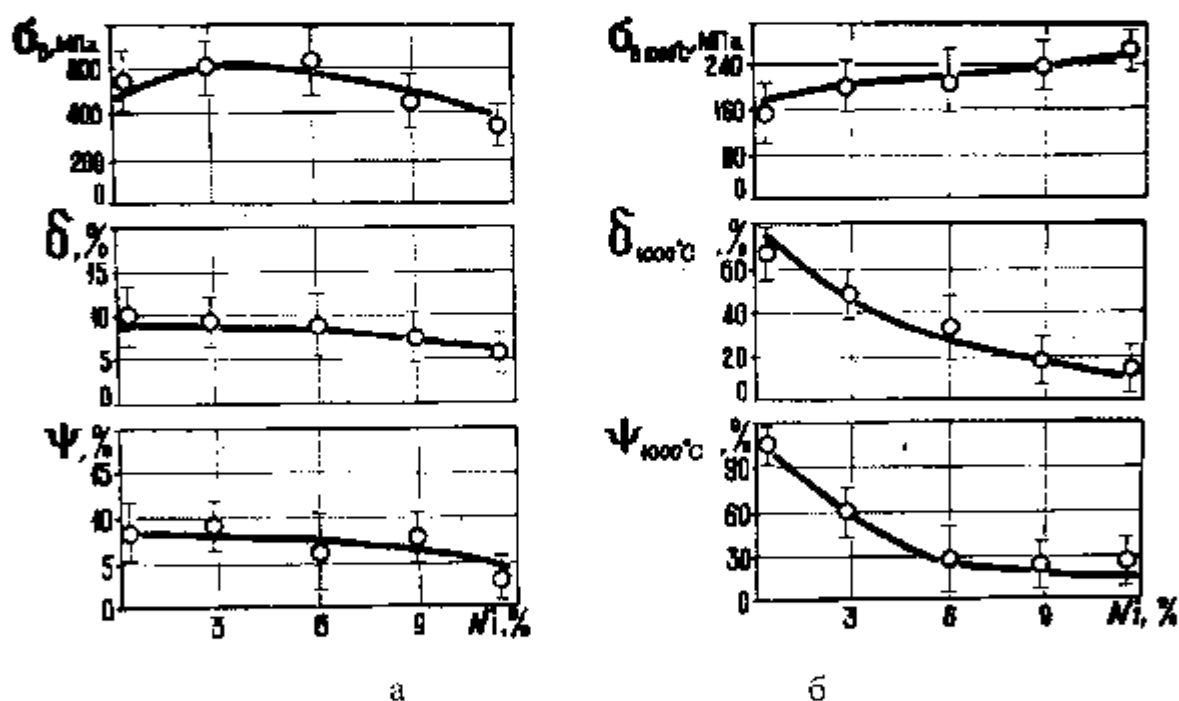
Результати оптимізації аргументів цільової функції (3.7) представлені у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Значення максимальних і мінімальних вмістів вуглецю, кремнію та хрому, що відповідають області припустимих значень цільової функції

Рівень досліджуваного параметра	Масова частка елемента, %			Значення цільовий функції
	Вуглець	Кремній	Хром	
Максимальний	1,3	2,5	29,1	0,53
Мінімальний	0,7	1,1	25,2	0,50

Таким чином, оптимальні показники елементів з урахуванням досліджених факторів для сплавів з феритокарбідною структурою типу 100X27C2Л знаходяться в межах : 0,7-1,3% C, 1,1-2,5% Si, 25,0-29,0% Cr.

Розроблений сплав з урахуванням сучасних вимог виробництва удосконалювався за рахунок застосування раціональних технологій легування досліджуваного металу. Відомо, що нікель позитивно впливає на комплекс властивостей ряду марок литих сталей. Додаткове легування нікелем сплаву 100X27C2Л в межах 2-6% приводить до істотного підвищення твердості і міцності (рис. 3.6 і 3.7). Значення показників пластичності при високих температурах знижуються у всьому досліджуваному інтервалі концентрацій, що пов'язане зі зміцненням високолегованого твердого розчину фериту (до 4% Ni) і рівномірним розподілом у ньому карбідної фази, а також появою ділянок аустенітної структури (вміст нікелю більший за 4%).



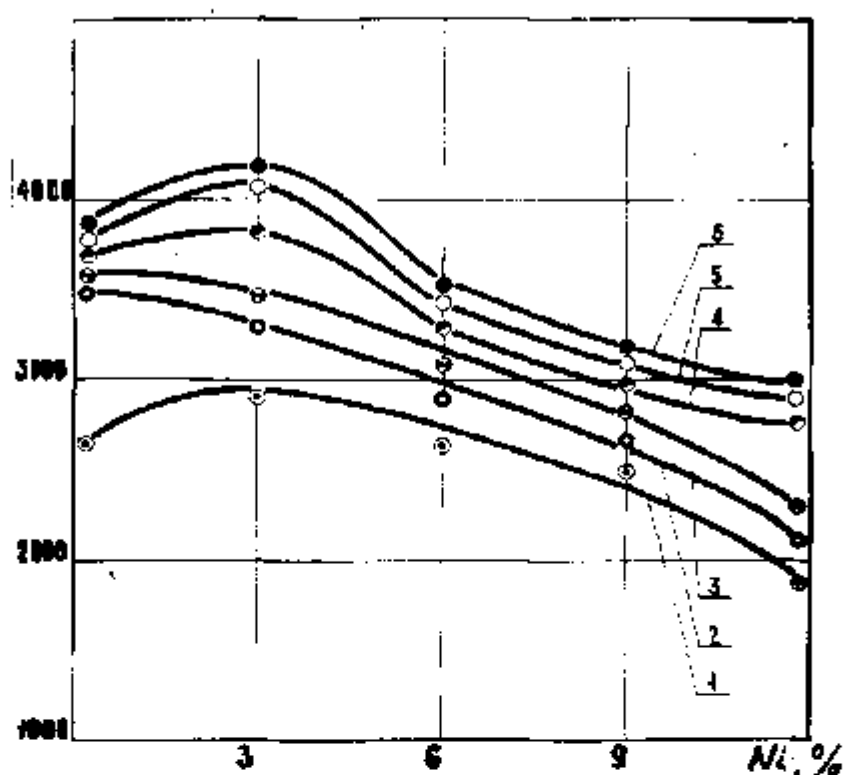
а - дослідження при $t=20^\circ\text{C}$; б - дослідження при $t=1000^\circ\text{C}$.

Рисунок 3.6 – Вплив нікелю на механічні властивості сплаву 100X27C2Л

Високотемпературні випробування ($t=1000^\circ\text{C}$) досліджуваних сплавів при тривалих витримках супроводжуються підвищенням значень твердості в досліджуваних межах (рис. 3.7), що пояснюється формуванням і рівномірним

розподілом у структурі тугоплавких високодисперсних карбідів і високоміцних оксидних включень складного складу типу шинелей (рис 3.8).

НВ, МПа

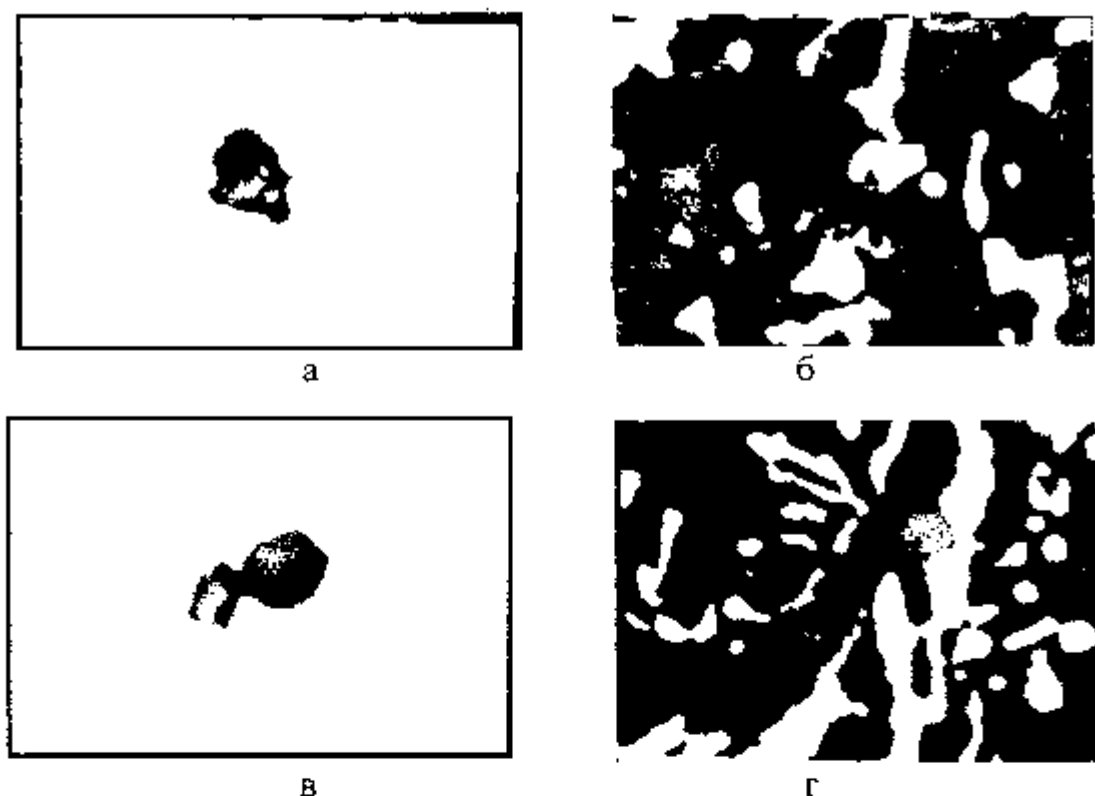


1-без витримки; 2,3,4,5,6-витримки 100, 300, 600, 900, 1200 годин

Рисунок 3.7 – Залежність твердості від вмісту нікелю і тривалості витримки сплаву 100X27C2Л

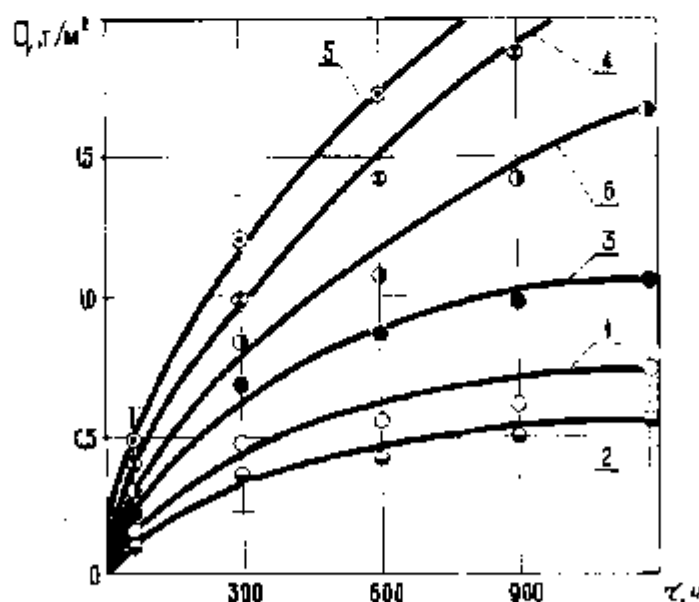
Кінетика руйнування і питомі втрати маси металу (q) сплавів при тривалій високотемпературній витримці характеризуються тим, що хромо-кремністий ферит має переваги перед аустенітними й аустеніто-феритними структурами (рис.3.9). При цьому ефективність впливу хрому і кремнію, що мають підвищену розчинність у феритній фазі, очевидно, виявляється при формуванні в жаростійких сталях високотугоплавких, важко розчинних оксидних плівок шинельного типу.

Максимальні значення жаростійкості і порівняльної зносостійкості в умовах високих температур сплаву марки 100X27H3C2Л досягаються при вмісті нікелю 2-4% (рис.3.10).



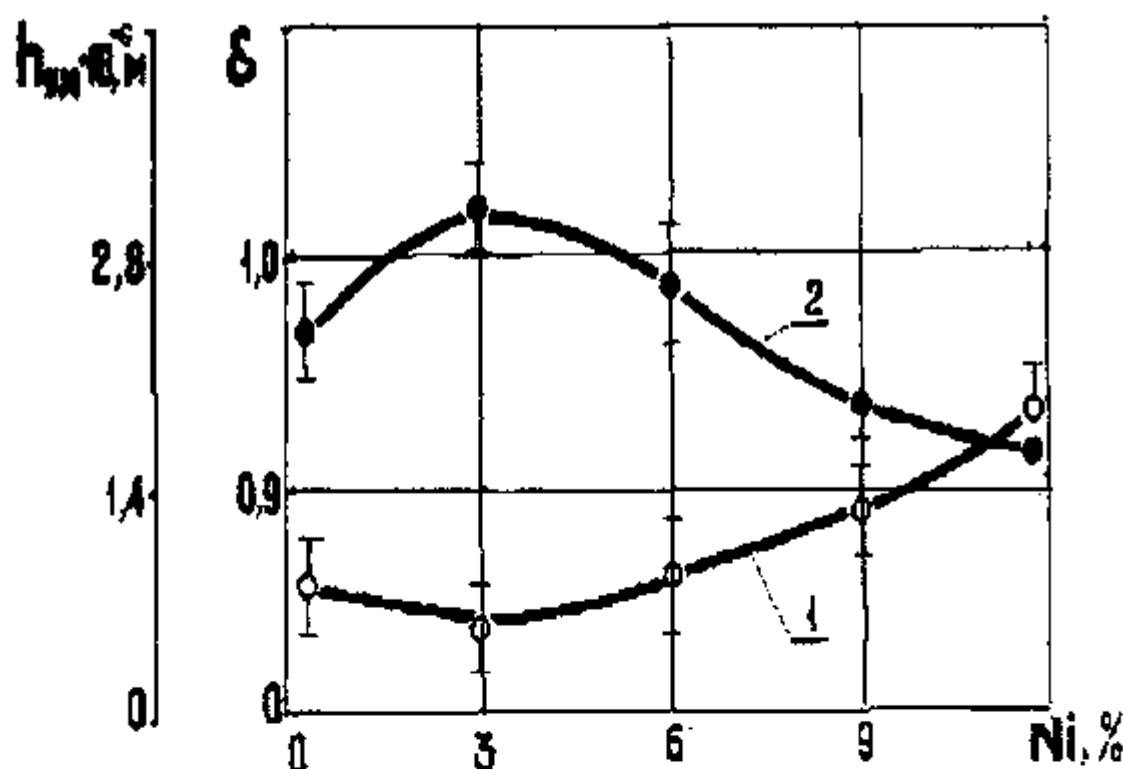
а - $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$; б - TiN-TiC ; в - $\text{FeO-Cr}_2\text{O}_3$; г - TiO-TiN .

Рисунок 3.8 – Неметалеві включення в сплаві 100X27H3C2Л (x1500x3)



1 – 100X27C2Л; 2 – 100X27H3C2Л; 3 – 100X27H6C2Л; 4 – 100X27H9C2Л; 5 – 100X27H12C2Л; 6 – 40X24H12CЛ.

Рисунок 3.9 – Питомі втрати маси металу досліджуваних сплавів при тривалій високотемпературній витримці ($t=1000^\circ\text{C}$)



1 - жаростійкість (h_{ox}); 2 - порівняльна зносостійкість ($E = \frac{\Delta P_{ст}}{\Delta P_{сп}}$).

Рисунок 3.10 Вплив нікелю на жаростійкість і порівняльну зносостійкість (при $t=1000^{\circ}\text{C}$) сплаву 100X27C2Л

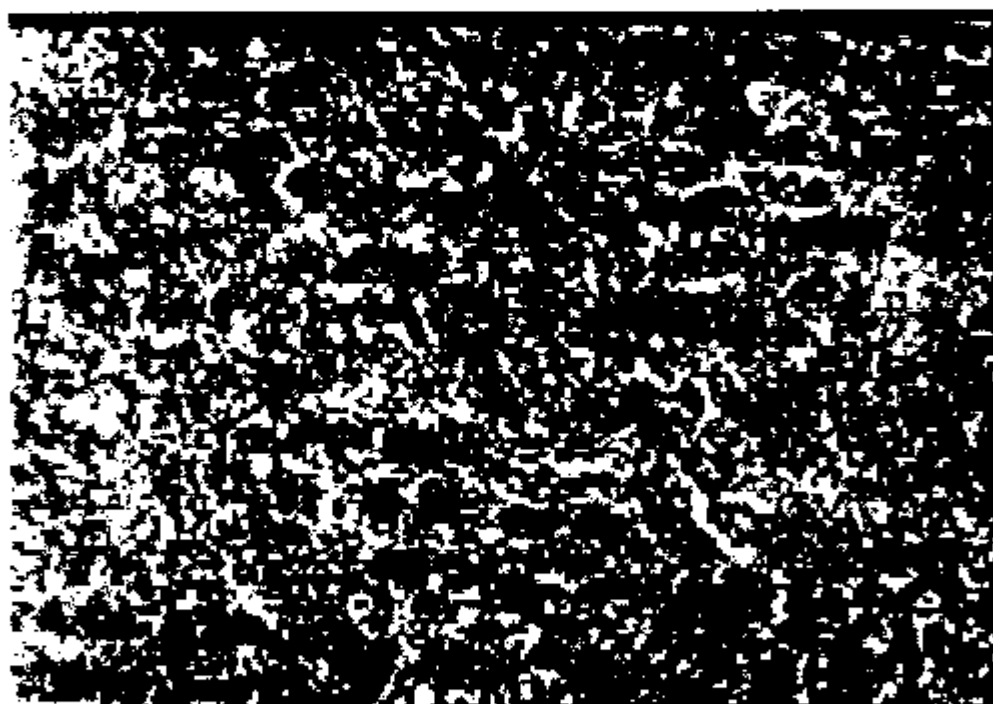
Таким чином, сплави марок 100X27C2Л і 100X27H3C2Л із ферито-карбідною стійкою структурою (рис. 3.11) і наявністю в ній комплексів тугоплавких хімічних сполук, забезпечують високі показники службових характеристик, що дозволяє рекомендувати їх для виготовлення деталей печей спікання шихтових матеріалів.

Впровадження в виробництво розроблених сплавів дозволяє збільшити термін служби деталей в 1,5-2,0 рази в порівнянні із серійними зі сталі 40X24H12СЛ (рис 3.12).

Ця розробка також забезпечує значний економічний ефект за рахунок економії нікелю (близько 100 кг на тонну) та зменшення міжремонтного циклу обладнання.



а



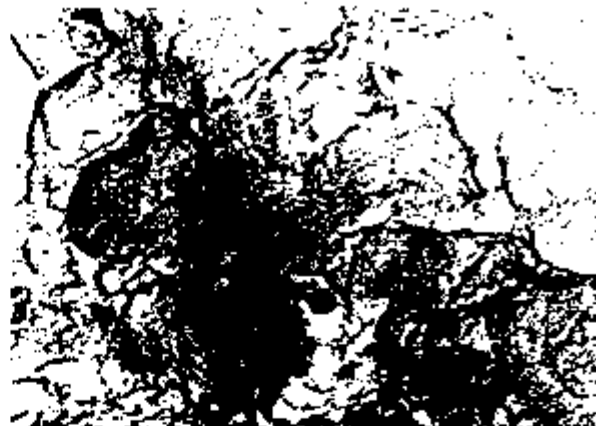
б

а - до експлуатації; б - після експлуатації.

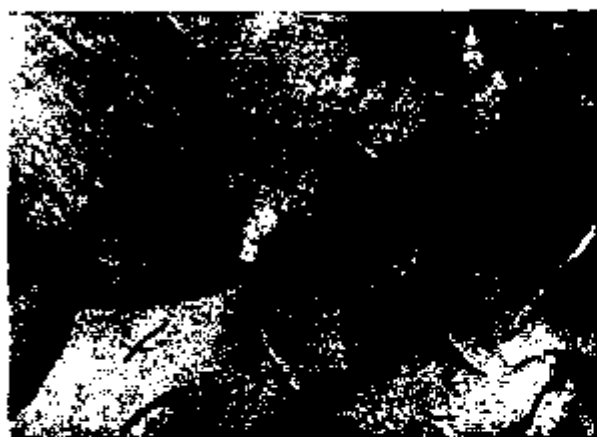
Рисунок 3.11 – Мікроструктура сплаву 100X27H3C2ТЛ (x200x4)



а



б



в



г

а – 40X24H12СЛ до експлуатації; б – 100X27H3C2ТЛ до експлуатації; в – 40X24H12СЛ 5000год; г – 100X27H3C2ТЛ 5000год.

Рисунок 3.12 – Мікрофрактограми сплавів 40X24H12СЛ та 100X27H3C2ТЛ

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Актуальність теми з позиції маркетингу

Україна має потужний гірничодобувний потенціал і займає одне з провідних місць серед європейських країн у цій галузі. Постійна інтенсифікація процесів видобутку і переробки руд корисних копалин потребує істотного збільшення надійності і довговічності роботи деталей гірничо-збагачувального устаткування, особливо тих, що працюють в умовах абразивного зношування при температурах до 1100 °С.

За нашого часу на підприємствах металургії такі деталі виготовляють з високолегованих аустенітних і аустеніто-феритних сталей марок 35X18H24C2Л, 35X23H7CЛ і 40X24H12CЛ. Встановлено, що ці марки сталі не задовільняють існуючі умови експлуатації, інтенсивно окислюються і руйнуються під дією абразивного середовища.

Термін служби таких деталей устаткування термічної обробки матеріалів, печей спікання сировини (броні, граничні плити, безболтові полки, футеровки й ін.) складає не більш 2-6 місяців. Через великі простої, зниження продуктивності підприємства несуть великі збитки. Так простій печей спікання глинозему складає близько 70% від загальної кількості відмовлень з вини зносу і поломок вище означених деталей, що працюють при високих температурах (900-1000 °С) у складних умовах абразивно-корозійного зношення.

Необхідність проведення розробки зносожаростійких сплавів, які забезпечують високі показники службових характеристик, конкурентоспроможності, обумовлено зменшенням міжремонтного циклу обладнання та з міркувань економічної доцільності.

В даному розділі розраховується економічна ефективність від впровадження сталей 100X27H3C2Л і 100X27C2Л із ферито-карбідною структурою замість 35X18H24C2Л, 35X23H7CЛ і 40X24H12CЛ.

4.2 Напрямки застосування.

В межах завдання слід послідовно проаналізовано та подати у вигляді таблиці:

- зміст ідеї, що пропонується (табл.4.1);
- можливі напрямки застосування;
- основні вигоди, що може отримати користувач товару (за кожним напрямком застосування)
- здійснити підбір команди;
- розробити концепції реалізації проекту;
- визначити перспективи ринкової реалізації проекту.

Таблиця 4.1 - Опис ідеї

Зміст	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
ідеї	2.Обладнання, що працює в умовах малонавантаженого абразивно-корозійного зношування	Високий рівень властивостей зносокорозійної стійкості сплавів

(на підставі даних табл.4.1 надано цілісне уявлення про зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів)

- проаналізувати ринкові можливості запуску реалізації ідеї;

В межах завдання слід послідовно проаналізовано та надано характеристику потенційного ринку та подати у вигляді табл.4.2.

- здійснити SWOT- аналіз середовища реалізації інноваційного проекту (табл. 4.3)

Таблиця 4.2 - Попередня характеристика потенційного ринку

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Головні конкуренти	Підприємства машинобудування України
2	Динаміка ринку (якісна оцінка)	спадає
3	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Потрібні великі інвестиції
4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Необхідна сертифікація обладнання

Таблиця 4.3 - SWOT- аналіз

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
-Підвищення продуктивності виробництва;	- Дорогоцінне обладнання
- зниження трудомісткості;	- Складність в налаштуванні обладнання
- зниження собівартості виготовлення деталей;	- Потреба в висококваліфікованих наладчиках
- підвищення якості та експлуатаційних властивостей на відповідальних деталях з одночасним забезпеченням зміщення, розмірної та чистової точності.	
- збільшення обсягу виробництва;	- Часті зміни параметрів процесу
- вихід на нові ринки;	- Частий вихід зі строю обладнання
- зменшення енерговитрат	- Не можливість знайти кваліфікований персонал

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

Створення карти має відбуватись у 4 етапи:

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

З метою відображення взаємозв'язків стейкхолдерів на Kartі має бути виокремлено три концентричних області, в яких розміщено всіх зацікавлених осіб інноваційного проєкту за можливостями впливу на них ініціатора проєкту. Область внутрішніх стейкхолдерів – область повноважень/відповідальності ініціатора. Внутрішні зацікавлені сторони знаходяться в прямій підлеглості ініціатора, що дозволяє використовувати досить прості методи адміністрування проєкту.

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

Карту стейкхолдерів подано на рис.4.1

4.3 Розрахунок кошторису витрат на проведення науково-дослідницької роботи

До складу витрат на виконання науково-дослідницької роботи входить вартість усіх ресурсів, необхідних для реалізації комплексу робіт. [36]

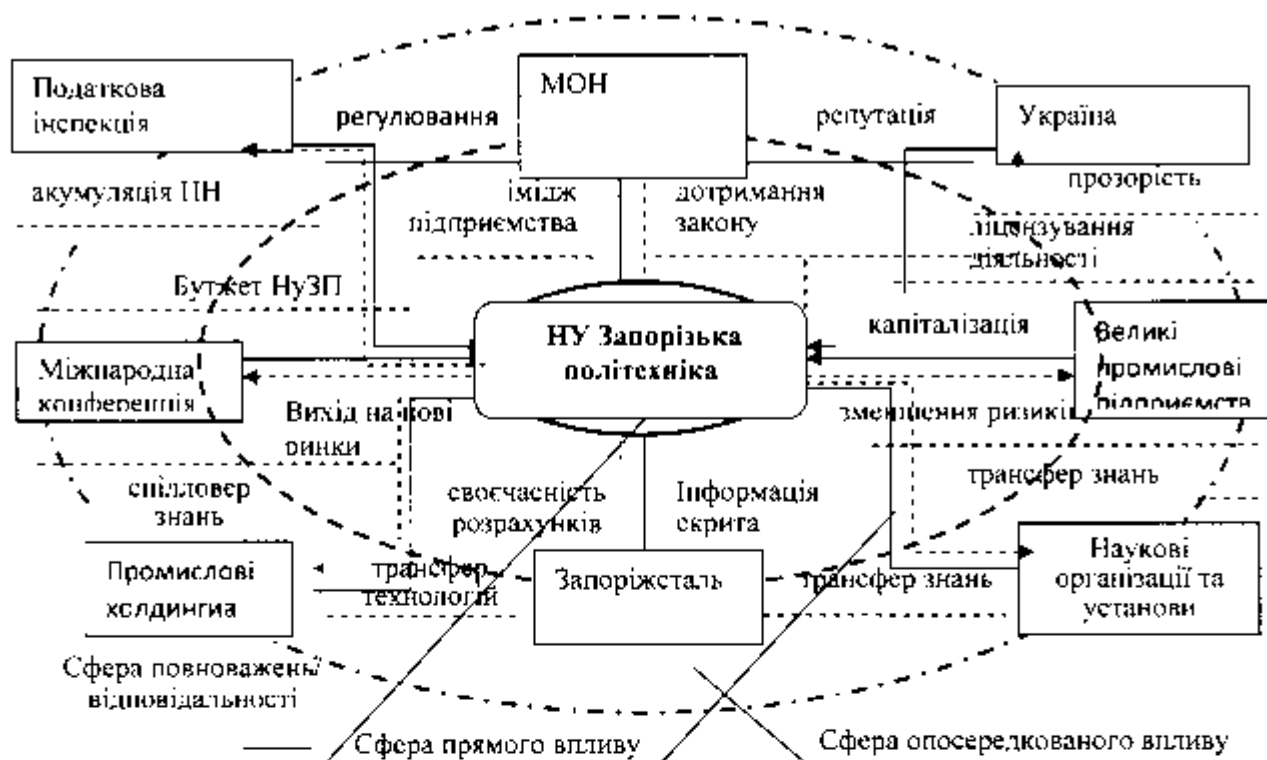


Рисунок 4.1 - Карта стейкхолдерів

Для визначення витрат на проведення науково-дослідницької роботи та технологічних випробувань, які вкажуть на доцільність використання нового сплаву, складається кошторис витрат (табл. 4.5).

Розрахунок вартості матеріалів. До цієї статті належать витрати на придбання основних матеріалів для проведення дослідження, а також для виготовлення макетів та дослідних зразків (табл. 4.6).

Спеціальне обладнання для наукової (експериментальної) роботи. В цій статті враховуються витрати на оренду лабораторних установок, вимірювальних та регулюючих приладів, пристроїв, випробувальної апаратури та ін. (табл. 4.7).

Розрахунок фонду оплати праці. Витрати за цією статтею складаються із планового фонду зарплати усіх категорій працівників, які задіяні у проведенні наукових досліджень. Результати розрахунків наведені в табл. 4.8.

Таблиця 4.5 – Конторис витрат на виконання науково-дослідницької роботи

№ п/п	Стаття витрат	Умовне позначе ння	Сума	
			грн	% по всьому
1	2	3	4	5
1	Матеріали, покупні вироби та напівфабрикати (із відрахуванням відходів, що реалізуються)	С _м	56521,6	17,3
2	Спеціальне обладнання для наукової (експериментальної) роботи	С _{об}	19952	6,1
3	Основна та додаткова зарплати виробничого персоналу	З	410000	32,8
4	Відрахування на соціальне страхування із суми основної та додаткової зарплати	С	3722,	12,7
5	Витрати на відрядження	В _{від}	4920	1,7
6	Накладні витрати	Н _в	8550	29,3
7	Всього	К _{ндп}	608252	100

Таблиця 4.6 – Розрахунок витрат на матеріали

Матеріал	Марка	Одиниця	Витрати матеріалу, кг	Ціна за одиницю, грн./кг	Сума витрат, грн
1	2	3	4	5	6
Чавун переробний		1 кг	800	10,2	816
Сталевий брухт		1 кг	750	10,2	765
Ферохром	ФХ75	1 кг	300	45	13500
Нікель	Н2	1 кг	250	65	16250
Феросиліцій	ФС45	1 кг	120	22	2640
Присадки алюмінію	АВ92	1 кг	10	22,4	224
Силікобарій		1 кг	10	28	280
Всього					48704
Транспорти о- заготовельні витрати (ТЗВ)	4% вартості матеріалів				1008,16
Всього з урахування м ТЗВ					56521,6

Таблиця 4.7 – Витрати на спеціальне обладнання

Обладнання	Марка	Кількість	Ціна за од, тис. грн.	Собівартість експлуатації, грн./год.
Прилад для контролю хімічного складу сплавів	"CAMEBAX"	1	2000	10000
	"LINC"	1	500	2000
Дифрактометр	YPC-50IM	1	500	2000
Мікроскоп	МИМ-7	1	30	120
Установка для контролю вмісту газів	"Leko"	1	100	400
Установка прискорених іспитів на високотем. абразив. зносостійкість	ЗМІ-1 ТЛП	1	90	360
Індукційна піч	ІСТ-0,06	1	1000	4000
Камерна піч	CHO 3.6.2/10	1	200	800
Твердомір	TK-2	1	20	80
Установка для іспитів на розтягання	УМЭ-10Т	1	40	160
Ваги	OCS-A10	1	8	32
Всього				19952

Таблиця 4.8 – Розрахунок основної заробітної плати

Посада	Кількість працівників	Місячний оклад, грн.	Кількість місяців роботи	Заробітна платня, грн.	Додаткова заробітна плата, грн.
Старший науковий співробітник	1	10000	10	100000	700
Молодший науковий співробітник	1	7000	10	70000	500
Лаборант	1	3500	10	35000	250
Всього	3		10	145000	1450
Разом	3			410000	

Додаткова заробітна плата визначається в розмірі 10% від основної зарплати штатних працівників.

Відрахування на соціальне страхування. Ці витрати визначаються в розмірі 38,8% основної та додаткової зарплати. Ці дані заносяться до табл. 4.5.

Витрати на відрядження. Ці витрати можна визначити прямим рахунком залежно від відряджених працівників, тривалості відрядження й транспортних витрат. На стадії проектування їх можна прийняти рівними 8-10% від суми основної заробітної плати. Ці витрати для цієї роботи становлять 4920 грн (табл.4.5).

Накладні витрати. Накладні витрати для науково-дослідницької роботи визначаються у відсотках від основної зарплатні виконавців у межах 80-100%. До них належать витрати, пов'язані з управлінням, утриманням та

експлуатацією обладнання та будівель. Ці витрати для цієї роботи становлять 85500 грн.

Бальна оцінка економічної ефективності науково дослідницької роботи. Наукові дослідження, прямий підрахунок економічної ефективності за якими не можливий, оцінюють за допомогою бальної системи (табл. 4.9-4.12). Бальна оцінка проводиться за такими найважливішими показниками:

- важливість розроблення K_1 ;
- можливість використання результатів розроблення K_2 ;
- теоретична значимість і рівень новизни дослідження K_3 ;
- складність розроблення K_4 .

Таблиця 4.9 – Шкала для оцінки важливості розроблення K_1

№ п/п	Показник	Бали
1	Ініціативна робота, що не є частиною комплексної програми, або завданням відомчих органів	1
2	Робота, що виконується за договором про науково-технічну допомогу	3
3	Робота представляє частину відомчої програми	5
4	Робота представляє частину відомчої комплексної програми	7
5	Робота представляє частину міжнародної комплексної програми	8

Таблиця 4.10 – Шкала оцінки можливості використання результатів розроблення К₂

№ п/п	Показник	Бали
1	У даному підрозділі	1
2	У даній організації	3
3	У багатьох організаціях	5
4	У масштабах країни	8

Таблиця 4.11 – Шкала оцінки теоретичної значимості й рівня новизни дослідження К₃

№ п/п	Показник	Бали
1	Аналіз, узагальнення й класифікація відомої інформації. Подібні результати були відомі в досліджуваній області.	2
2	Одержання нової інформації, що доповнює знання про сутність досліджуваних процесів, не відомої в досліджуваній області.	3
3	Одержання нової інформації, що змінює уявлення про сутність досліджуваних процесів, не відомої раніше.	5
4	Створення нових теорій, методик.	6
5	Одержання інформації, що впливає формування напрямків, не відомих раніше.	8

Таблиця 4.12 - Шкала оцінки показників складності дослідження K_4

№ п/п	Показник	Бали
1	Робота виконується одним підрозділом, витрати менш 10000 грн	1
2	Робота виконується одним підрозділом, витрати 10000-50000 грн	3
3	Робота виконується одним підрозділом, витрати 50000-100000 грн.	5
4	Робота виконується за участю багатьох підрозділів, витрати 100000-500000 грн.	7
5	Робота виконується декількома організаціями, витрати понад 500000 грн.	8

Загальна оцінка встановлюється за добутком коефіцієнтів:

$$B = K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \quad (4.4)$$

Питомий ефект (ПЕ) на кожний бал - 5 000 грн.

Загальний ефект (Е) від розробки складає:

$$E = 5000 \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \quad (4.5)$$

Загальний ефект для цього дослідження складає:

$$E = 5000 \times 3 \times 3 \times 3 \times 5 = 675000.$$

Економічна ефективність науково-дослідницької роботи визначається за допомогою коефіцієнта ефективності, що характеризує частку загального

ефекту від розробки, що приходить на одну грн. витрат (собівартості НДР):

$$K_e = \frac{E}{K_{ндр}} = \frac{675000}{608252} = 1,109.$$

Висновки: Керуючись раніше наведеними розрахунками можна зробити наступні висновки.

Економічна ефективність даної роботи пояснюється зменшенням вартості сплавів та міжремонтного циклу обладнання при заміні 100X27H3C2Л і 100X27C2Л із ферито-карбідною структурою замість 35X18H24C2Л, 35X23H7CЛ і 40X24H12CЛ. Економічна ефективність передбачає співставлення нормативного коефіцієнту ефективності з додатковими капітальними вкладеннями.

Коефіцієнт ефективності, що характеризує частку загального ефекту від розробки, що приходить на одну грн. витрат дорівнює 1,109 (грн./рік)/грн. що перевищує нормативний коефіцієнт ефективності. Отже заміна сплавів 35X18H24C2Л, 35X23H7CЛ і 40X24H12CЛ на ферито-карбідні 100X27H3C2Л і 100X27C2Л є доцільною.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В даному розділі дипломної роботи розглядаються потенційні небезпеки та заходи захисту від них при виконанні дослідження зносостійкості деталей, що працюють при високих температурах.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

а) Незадовільні параметри робочого місця та робочої зони дослідника внаслідок неврахування вимог ергономіки, що може призвести до зниження працездатності.

б) Можливість отримання травмувань внаслідок порушень правил з охорони праці при знаходженні в приміщенні лабораторії або при використанні технологічного обладнання для дослідження.

в) Небезпеки, що пов'язані з використанням персонального комп'ютеру та іншої офісної техніки при обробці результатів досліджень внаслідок тривалого знаходження в зонах електромагнітних полів та випромінювання, що може призвести до зниження імунітету.

г) Можливість отримання термічних опіків та уражень електричним струмом при виконанні дослідницьких робіт на установці прискорених іспитів ЗМІ-1 ТЛП для визначення високотемпературної абразивної зносостійкості.

д) Можливість отруєння газами, механічних травмувань та уражень електричним струмом при роботі з приладом для контролю вмісту газів сплавів "Leco", дифрактометром UPC-50 IM.

е) Термічні опіки при плавленні в індукційній печі моделей і серійного досліджуваного металу та СНО 3.6.2/10 для термічної обробки зразків в печі.

е) Можливість отримання механічних травмувань при підготовці та випробуванні твердості і механічних властивостей на установках для визначення твердості ТШ-2 та УМЭ-10Т.

ж) Можливі отруєння випаровуванням травників для дослідження структури зразків.

з) Незадовільні параметри повітряного середовища внаслідок неефективної роботи системи опалювання та незабезпечення необхідного повітрообміну.

і) Можливість загоряння внаслідок порушення правил безпеки чи виходу з ладу обладнання може призвести до пожеги.

к) Хибні і дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій відсутність організації дій.

5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

а) Оптимальна організація робочого місця потребує виконання умов ергономіки, а саме: у лабораторних приміщеннях площа на одного працюючого повинна бути не менше 4,5 м², висота робочої зони не менше 3,2м, а об'єм на одного працюючого не менше 15 м³ згідно ГОСТ 12.2.032-78.ССБТ «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.» та ГОСТ 12.2.033-84.ССБТ «Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования. »

б) Для запобігання механічного травмування пропонуються організаційні і технічні заходи захисту.

Організаційні: дотримання чистоти і порядку на робочому місці; проведення усіх видів інструктажів та перевірки знань з охорони праці; призначення відповідальних осіб за стан приміщення.

Технічні: усі пристрої та технологічне обладнання повинні бути в справному стані та атестовані; використання індивідуальних засобів захисту. Насамперед це спеціальний одяг, рукавиці і спеціальне взуття із захисним носком ГОСТ 12.4.125-83 ССБТ «Средства коллективной защиты работающих от воздействия механических факторов. Классификация»

в) При роботі з персональним комп'ютером людина піддається дії ряду небезпечних і шкідливих виробничих факторів: електромагнітних полів (діапазон радіочастот: ВЧ, УВЧ і СВЧ), інфрачервоного і іонізуючого випромінювань.

Для зниження впливу перерахованих видів випромінювання рекомендується застосовувати монітори із зниженою випромінювальною здатністю, встановлювати захисні екрани, а також дотримуватися регламентованого режиму праці та відпочинку.

Вимоги до організації робочого місця користувача ІК:

- висота столу з клавіатурою повинна становити 62-88 см над рівнем столу; а висота екрана (над підлогою) - 90-128 см;
- Відстань від екрана до краю столу - 40-115 см;

г) Вимоги до техніки безпеки при роботі з установкою прискорених іспитів ЗМІ-1 ТЛП для визначення високотемпературної абразивної зносостійкості:

- використанням індивідуальних засобів захисту для виключення опіків (спенодяг, рукавиці, ГОСТ 12.4.103-83 «Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук. Классификация» та гумові килимки ГОСТ 4997-75 «Ковры диэлектрические резиловые. Технические условия» для запобігання від ураження електричним струмом);
- обов'язкове виконання умов випробувань, зазначених в інструкції до дослідження.

д) Вимоги з техніки безпеки при використанні дифрактометра УРС-501М:

- Використання спеціального одягу та засобів індивідуального захисту (рукавиці, халат ГОСТ 12.4.103-83 «Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук. Классификация» для попередження механічних травмувань, килимок електроізолюючий ГОСТ 4997-75 «Ковры диэлектрические резиновые. Технические условия» для запобігання від ураження електричним струмом);

- Переконалися у повній справності під'єднання шнура, вилки, розетки. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ «Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов»

Вимогою з техніки безпеки при роботі з установкою для контролю вмісту газів "Лесо" є попередження раптового руйнування балонів зі стисненими газами.

Передбачено:

- Правильне зберігання і переміщення балонів установки згідно НПА ОП 0.00-1.07-94 «Правила будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском»

- Зберігання балонів у вертикальному положенні з укріпленням спеціальними хомутами;

- Для запобігання витoku захисних газів з трубопроводу шланги (гнучкі) повинні бути армованими.

д) Для виключення можливості отримання термічних опіків передбачено:

Технічні заходи: використання спеціального одягу ГОСТ 12.4.221-2002 ССБТ «Одежда специальная для защиты от повышенных температур теплового излучения, конвективной теплоты. Общие технические требования», спеціальних рукавиць ГОСТ 12.4.010-75 «Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия».

е) До проведення випробування на твердість висуваються наступні вимоги:

- Під час випробування пристрій повинен бути захищеним від ударів та вібрацій.

- Опорні поверхні робочого столика-підставки та зразка повинні бути очищеними від сторонніх речовин. Зразок повинен лежати на підставці стійко, без зміщення та прогину під час випробування.

До проведення випробування на установці УМЭ-10Т:

- дотримання інструктажів з використання та перевірка справності приладу;

- використання спеціального одягу (рукавиці ГОСТ 12.4.010-75 «Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия») та засобів для виключення можливості отримання опіків.

с) Для виготовлення зразків використовують хімічні реактиви, робота з якими також може бути небезпечною для життя людини, тому необхідно дотримуватися наведених нижче правил.

Транспортування пляшок з кислотами та аміаком зі складу до лабораторії передбачено проводити у міцних плетених корзинах з двома ручками (всередині обкладених соломкою або стружкою).

Розливання кислот з пляшок проводиться за допомоги сифонів під витяжкою шляхом нахилу пляшки в корзині двома робочими. Якщо витяжка відсутня, то розливання проводиться у респіраторах. Під час розливання робочі повинні бути одягненими у гумові фартухи, рукавиці, чоботи та захисні окуляри.

Травлення шліфів хімічними реактивами проводити у витяжній шафі. Поруч повинна бути проточна вода. У випадку використання міцних реактивів травлення проводити в гумових рукавицях ГОСТ 12.4.010-75 «Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия» обов'язково у витяжній шафі. Передбачено перенесення лугів та лужних металів пінцетом або фарфоровою ложкою. Розчинення твердих ідких лугів проводиться у жаростійкій посуді. Товстостінні сосуди від нерівномірного нагрівання можуть лопнути. У випадку поєднання розчинів

кислот та лугів відбувається нейтралізація, яка супроводжується розігріванням та розбризкуванням. Для нейтралізації користуються тільки розбавленими розчинами.

При опіках кожних покрівів кислотою або лугом (II клас шкідливості) постраждалому необхідно надати першу допомогу:

а) ретельно промити місце опіку великим струменем води;

б) промити ділянку опіку: при опіках кислотою – 10% розчином бікарбонату натрію, при опіках лугом – 3-5% (за об'ємом) розчином оцтової кислоти або 1-2% (за об'ємом) розчином соляної кислоти.

У випадку потрапляння лугу або кислоти в очі або ротову порожнину, нейтралізацію після попереднього промивання водою проводять:

а) при попаданні кислоти – 5% розчином бікарбонату натрію;

б) при попаданні лугу – 2% розчином борної кислоти або 3% розчином оцтової кислоти.

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

При виконанні трудових обов'язків на людину діє навколишнє повітряне середовище, зокрема параметри метеорологічних умов - температура, відносна вологість, швидкість руху повітря робочої зони лабораторних приміщень, які повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Воздух рабочей зоны. Общие санитарные гигиенические требования». Метеоумови в робочій зоні приміщення, визначаються ГОСТ 12.1.005-88 "Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны".

Оптимальною вважають: температуру 20 °С, вологість повітря - 60 %, швидкість переміщення повітря 0,2 м/с, атмосферним тиском вважають 760 мм. рт. ст.

Заходи щодо забезпечення нормального мікроклімату в робочих приміщеннях: опалення, вентиляція, кондиціонування повітря.

В лабораторних приміщеннях машини, обладнання, печі виділяють в навколишнє середовище значну кількість різних речовин. Крім того на якість повітря у виробничих приміщеннях впливає надлишок теплоти, що випромінюють печі і вироби. Ефективним засобом забезпечення чистоти і параметрів мікроклімату повітря робочої зони є вентиляційна система.

Загальнообмінна вентиляція застосовуються для забезпечення нормативних параметрів навколишнього середовища в робочій зоні приміщення. Загальнообмінна вентиляція використовується в тому випадку, коли шкідливі виділення надходять у приміщення, де не фіксовані робочі місця.

Місцева витяжна вентиляція призначається для забезпечення працюючих чистим повітрям безпосередньо на робочому місці та витягнення шкідливих речовин від джерел їх виділення та скупчення. Місцева припливна вентиляція створює сприятливі умови в обмеженій зоні приміщення, а витяжка запобігає розповсюдженню шкідливих речовин в робочій зоні та в приміщеннях.

Приміщення з постійним перебуванням людей повинні мати, як правило, природне освітлення. Природне освітлення підрозділяється на: бічне, верхнє і верхнє - бокове (комбіноване). Розміри світлових отворів, допускається змінювати на ± 5 , -10% .

Штучне освітлення підрозділяється на: робоче, аварійне, евакуаційне (аварійне освітлення для евакуації), охоронне. При необхідності частина світильників того, чи іншого виду освітлення може використовуватися для чергового освітлення. Штучне освітлення варто передбачати для всіх приміщень, будинків, а також ділянок відкритих просторів, призначених для роботи, проходу людей і руху транспорту.

Для освітлення приміщень, як правило, варто передбачати газорозрядні лампи низького і високого тиску. У випадку неможливості та техніко -

економічної недоцільності застосування газорозрядних джерел світла допускається використання ламп накаливання.

Аварійне освітлення варто передбачати, якщо відключене робоче освітлення.

5.4 Заходи з пожежної безпеки

Пожежа – неконтрольований процес горіння, який супроводжується знищенням матеріальних цінностей та складає небезпеку для життя людей.

Висока пожежовибухонебезпечність технологічних процесів термічного виробництва визначається різними причинами пожежі: порушення технологічного режиму, несправність електрообладнання, незадовільною підготовкою обладнання до ремонту, недотримання графіка планового обслуговування і ремонту обладнання, конструктивні недоліки обладнання.

Причини пожеж технічного характеру і відповідна їм частота випадків наступні:

- порушення технологічного режиму - 33 %;
- несправність електроустаткування (коротке замикання, перевантаження і великі перехідні опори) - 16 %;
- погана підготовка устаткування до ремонту - 13 %;
- самозаймання промасленого дроту й інших матеріалів, схильних до самонагрівання - 10 %;
- недотримання графіка ЛПР, знос і корозія устаткування — 8 %;

Заходи щодо пожежної профілактики розділяються на організаційні, технічні, режимні й експлуатаційні.

Організаційні заходи передбачають правильну експлуатацію машин і внутрішньозаводського транспорту, правильний зміст будинків, території,

протипожежний інструктаж робочих і службовців, організацію добровільних пожежних дружин, пожежно-технічних комісій, видання наказів по питаннях посилення пожежної безпеки і т.д.

До технічних заходів відносяться дотримання протипожежних правил, норм при проектуванні будинків, при пристрої електропроводів і устаткування, опалення, вентиляції, висвітлення, правильне розміщення устаткування.

До заходів режимного характеру відноситься заборона паління в невстановлених місцях, виробництва електрозварювальних і інших вогневих робіт у пожежонебезпечних приміщеннях та ін.

Експлуатаційними заходами є своєчасні профілактичні огляди, ремонти й іспити.

Відповідно до ГОСТ 12.1.004 — 85 «ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования» і ГОСТ 12.1.010—76 «ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования» ймовірність виникнення пожежі протягом року не повинна перевищувати 10^{-6} .

Пожежна профілактика досягається шляхом заходів наступних видів:

- Заходів, які спрямовані на запобігання виникненню пожежі або вибуху. Це насамперед попередження утворення пожежонебезпечного середовища, усунення причин виникнення джерела запалювання (ініціювання вибуху). З цією метою здійснюється герметизація обладнання, заміна вогневибухонебезпечних матеріалів, використання флегматизаторів, систем вентиляції, заборона використання відкритого вогню;

- заходів, що попереджають поширення пожежі і вибуху. До їх числа відносяться правильне розташування будинків на території (пожежні розриви, облік «рози вітрів»), протипожежні пристрої в конструкції будинків (протипожежні перешкоди, вогнестійкі перекриття);

- безпечної евакуації людей і матеріальних цінностей із зони пожежі. Для цієї мети розробляють евакуаційні виходи і шляхи евакуації;

- заходів, що забезпечують успішне гасіння пожежі: правильний вибір та розміщення засобів пожежогасіння. В лабораторіях повинен знаходитись вогнегасник ВВК-5.

5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

Заходи з цивільної оборони.

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

- Запобігання причин виникнення;
- Запобігання найекстремальніших ситуацій;
- Пом'якшення, максимальне послаблення наслідків надзвичайних ситуацій.

У практиці управління найбільший ефект дає спільне використання всіх трьох стратегій, особливо при аваріях техногенного характеру. Для реалізації кожної із стратегій управління необхідно розробляти і приймати комплекс превентивних та оперативних заходів.

Превентивні:

- аналіз і встановлення зовнішніх і внутрішніх причин, що ведуть до катастрофи;
- заходи з підвищення стійкості;
- навчання формувань і громадян способам захисту.

Оперативні:

- оповіщення про НС;
- проведення екстрених захисних заходів (укриття в ЗС, евакуація, використання ЗІЗ);
- надання першої медичної та першої лікарняної допомоги;

- термінове постачання постраждалих продовольством та іншими життєво необхідними засобами;
- введення аварійно-відновлювальних робіт.

При виникненні НС організовується надзвичайне управління, яке складається з чотирьох стадій ліквідації наслідків.

1. Стадія прийняття екстрених заходів. Мета - задіяти механізм надзвичайного управління і вчасно зреагувати на НС. Тривалість початкової стадії - 1-10 годин.

2. Стадія оволодіння ситуацією та організації механізму надзвичайного управління в зоні лиха, у плануванні та проведенні рятувальної операції відповідного масштабу. Тривалість другої стадії - від кількох годин до кількох діб.

3. Основна і визначальна стадія. Мета - перебороти надзвичайний характер ситуації: відновити безпеку населення в зоні лиха, ліквідувати загрозу життю і здоров'ю всім постраждалим, створити мінімально необхідні умови для життєдіяльності населення, що залишилося. Тривалість - кілька діб - кілька тижнів.

4. Стадія відновлення, тобто економічна, соціальна, культурна та екологічна реабілітація зони лиха.

Таким чином, основними заходами безпеки при дослідженні є:

а) комплекс заходів для забезпечення безпеки при виконанні робіт (згідно з ПУЗ-2011, ГОСТ 12.1.019-79, ДСТУ 3962-2000 та ГОСТ 12.4.137-2001):

- всі співробітники лабораторії повинні мати 2-3 групу з електробезпеки;
- перед початком роботи перевіряти справність приладів; до роботи приступати лише після усунення несправностей;
- тримати робоче місце в чистоті та порядку задля попередження травмування.

б) заходи з санітарно-гігієнічних умов праці (згідно з ГОСТ 12.1.005-88, СНиП 2.04.85-86, ДБН В. 2.5-28-2006):

- запроектовано підтримання оптимальних норм температури, відносної вологості і швидкості переміщення повітря в приміщенні лабораторії;

- запропоновано використовувати кондиціонування повітря, вентиляція - природна (провітрювання) та механічна – встановлення витяжної вентиляції.

в) заходи з протипожежної безпеки (відповідно до СНиП 2.09.02-85, СНиП 2.01.02-85):

- спроектовано наявність в лабораторії одного порошкового вогнегасника типу ОП-5. Розташовується вогнегасник при вході у дослідницьку лабораторію.

Під час проведення досліджень для збереження життя та здоров'я працівників лабораторії та наявного у приміщенні майна слід дотримуватися заходів безпеки і тим самим підвищити культуру виробництва, виключити отримання травм при роботі і зберегти життя та здоров'я робітників. Крім того позбавити від небажаних економічних втрат.

ВИСНОВКИ

1. На підставі літературного огляду, аналізу умов роботи та причин виходу з ладу відповідальних деталей печей спікання глиноземної промисловості, встановлені критерії їх високотемпературного зношування. Встановлено, що хромо-нікелеві сплави, які використовувались раніше, не задовольняють існуючим умовам експлуатації деталей печей спікання глинозему.

2. За допомогою розроблених методик досліджений механізм руйнування серійних сталей типу 40X24H12CЛ, 35X18H24C2Л і 35X23H7CЛ при високих 900-1100 °С в умовах абразивного середовища глинозему.

3. Встановлені особливості руйнування серійних сплавів, де хром і кремній утворюють з'єднання нестехіометричного складу, які сприяють формуванню порожнин і тріщин у структурі сплаву.

4. Досліджено вплив вуглецю, хрому, кремнію, нікелю на спеціальні властивості литих сплавів (жаростійкість, зносостійкість). На підставі отриманих залежностей і експериментальних даних розроблені ферито-карбідні сплави марок 100X27H3C2Л і 100X27C2Л, які дозволяє підвищити ресурс роботи обладнання та заощадити дефіцитний легувальний елемент.

5. Економічна ефективність даної роботи пояснюється зменшенням вартості сплавів та міжремонтного циклу обладнання при заміні 100X27H3C2Л і 100X27C2Л із ферито-карбідною структурою замість 35X18H24C2Л, 35X23H7CЛ і 40X24H12CЛ. Розрахований Коефіцієнт ефективності, який характеризує частку загального ефекту від розробки, що приходить на одну грн. витрат та дорівнює 0,77 (грн./рік)/грн. Отже, заміна сплавів є доцільною.

6. Розглянуті потенційні небезпеки та заходи захисту від них при виконанні дослідження зносостійкості деталей, що працюють при високих температурах: незадовільні параметри робочого місця, можливість

отримання механічних травмувань, термічних опіків та уражень електричним струмом внаслідок порушень правил з охорони праці при виконанні дослідницьких робіт.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Скалли Дж. Основы учения о коррозии и защите металлов: пер. с англ. М.: Мир, 1978. 224 с.
2. Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Бершадский Л.И. Механизм нормального трения и износа при высоких температурах. М.: Наука, 1973. 265 с.
3. Ульянин Е.А. Коррозионностойкие стали и сплавы. М.: Металлургия, 1980. 208 с.
4. Chang S.L., Pettit F.S. Interaction between corrosion and high-temperature corrosion of metals: *the erosion affected oxidation regime*. 1990. №1-2. P.23-45.
5. Виноградов В.Н., Сорокин Г.М., Колокольников М.Г. Абразивное изнашивание. М.: Машиностроение, 1990. 224 с.
6. Чатынян Л.А. Новые материалы и покрытия для работы с трением в вакууме при высоких температурах. *Трение и изнашивание при высоких температурах*. М., 1973. 44-48с.
7. Бабаков А.А., Приданцев М.В. Коррозионностойкие стали и сплавы. М.: Металлургия, 1971. 422 с.
8. Королев М.Л. Азот как легирующий элемент стали. М.: Металлургиздат, 1970. 160 с.
9. Гаврилин И.В., Ершов Г.С. О связи строения жидкости и твердых металлов. *Черная металлургия*. 1973. №4. 149-152с.
10. Кашеев В.Н. Абразивное разрушение твердых тел. М.: Наука, 1970. 230 с.
11. Федьков В.А., Ивахненко Е.И., Лунев В.В., Федьков Г.А. Изучение абразивного износа литейных сплавов при высоких и низких температурах. Деп. в Укр НИИНТИ 12.03.1991, № 325-Ук91. Запорожье. 1991. 9 с.
12. Bereza J.M. Wear and impact resistant white cast irons "*In. j. the British Foundryman*". 74, №10, 1981. P.205-211.

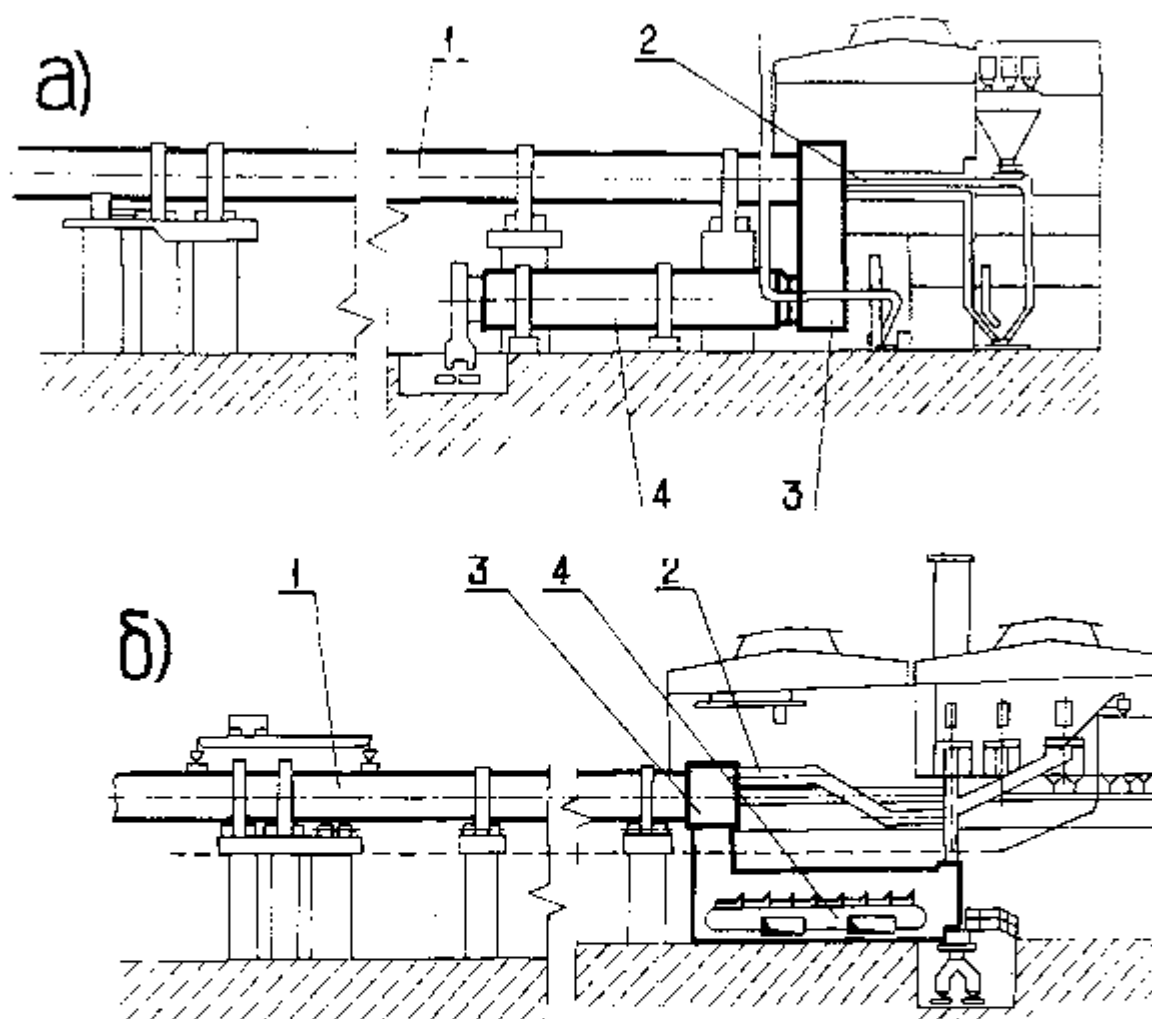
13. Иваненко С.М., Александров Б.И. Влияние легирования элементов на свойства высокохромистого чугуна. *Литейное производство*. 1991. №7. 13-14 с.
14. Гудремон Э. Специальные стали: в 2 т. / [2-е изд.] М.: Металлургия, 1966. 1274 с.
15. Гарбер М.Е. Отливки из белых чугунов. М.: Машиностроение, 1972. 112 с.
16. Добровольский А.Г., Кошеленко П.И. Абразивная износостойкость материалов. К.: Техніка, 1989. 125 с.
17. Тсибоши К. Влияние содержания углерода и хрома и термообработки на вязкость и износостойкость высокоуглеродистых легированных сталей. *Дзайре то пуросэсу*. 1989. №3. 849с.
18. Barker K.S., Ball A. Synergistic abrasive - corrosive wear of chromium containing stell. *Brit. Cor.* 1989. №3. P.222-228.
19. Тененбаум М.М. Сопротивление абразивному изнашиванию. М.: Машиностроение, 1976. 271 с.
20. Pigors O. Hucke K. Veeschleibverhalten von Kohlenstoffsta hlen und niedrig legierten stahler unter beconderer Beruck. *Sich- tigungcon Radbandagenwerkstoffe*. Technic, 1980. №2. P.42-45.
21. Шульте Ю.А. Хладнотойкие стали. М.: Металлургия, 1970. 224 с.
22. Феррито-карбидные сплавы для деталей горнообогатительного оборудования / И.Е. Ивахненко и др. В кн.: «*Нові конструкційні сталі та стопи і методи їх оброблення для підвищення надійності і довговічності виробів*». Запоріжжя: ЗНТУ, 2014. 20-21 с.
23. Износостойкие сплавы для деталей металлургического оборудования / И.Е. Ивахненко, В.А. Шаломеев и др. В кн.: «*Нові матеріали і технології в машинобудуванні*». К.: НТУУ "КПІ", 2015. 63-64 с.
24. Тылкин М.А. Повышение долговечности деталей металлургического оборудования. М.: Металлургия, 1971. 608 с.

25. Иванова В.С. Усталость и хрупкость металлических материалов. М.: «Наука», 1968. 215 с.
26. Баландин Ю.Ф. Термическая усталость металлов. *МетОМ*. 1961, №3. 2-8 с.
27. Давиденков Н.Н., Лихачев В.А. Необратимое формоизменение металлов при циклическом тепловом воздействии. М.: Машгиз, 1962. 134 с.
28. Швыденко В.И. Термоусталость. Киев, «Вища школа», 1980. 208 с.
29. Лукаш С.В. Разработка и исследование новой жаростойкой безникелевой стали. В кн.: *«Повышение технического уровня и совершенствование технологических процессов производства отливок»*. Днепропетровск, 1990. 23-24 с.
30. Браун М.П. Микролегирование стали. Киев.: Наукова думка, 1982. 303 с.
31. Василюк П.М., Бутенко Л.И. Жаростойкость сплавов системы Fe-Cr. В кн.: *«Защита металлов»*. РЖ Металлургия №1 1990 ИИ493.1989. Т.25, №5, 845-847 с.
32. Лаянская К.А. Высокохромистые жаропрочные стали. М.: Металлургия, 1976. 216 с.
33. Лившиц Б.Г., Крапошин В.С., Линский Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1980. 320 с.
34. Свойства, получение и применение тугоплавких соединений. Справ. изд. / Под ред. Косолаповой Т.Я. М.: Металлургия, 1986. 982 с.
35. Ульянов Е.А., Свистунова Т.В., Левин. Ф.Л. Высоколегированные коррозионностойкие сплавы. М.: Металлургия, 1987. 88 с.
36. ГОСТ 977-88. Отливки стальные. Общие технические условия. 1990.
37. ГОСТ 5632-72. Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. 1975.
38. Брук Б.И., Завьялов А.С. Перераспределение карбидов, как одна из форм структурной нестабильной стали. *МетОМ*, 1962, №3. 14-18 с.

39. Иодковский С.А., Стасюк Г.Ф., Дубровский А.В., Новицкая Р.М. Влияние фазового состава хромоникелевых сталей на образование горячих трещин. *Литейное пр-во №10*, 1970. 11с.
40. Нейгебауэр Г.О., Фельдман Б.А., Сергеев В.П., Носкова В.Ф. Термостойкость литых хромистых сплавов. *Литейное пр-во №3*, 1971. 26 с.
41. Гиршович Л. Справочник по чугунному литью. 1978. 408 с.
42. Сокол И.Я. Двухфазные стали. М.: Металлургия, 1974. 216 с.
43. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1986. 541 с.
44. Масленков С.Б. Основы легирования жаростойких сталей и сплавов на основе Fe. *МиТОМ*, 1980, №7. 10-11 с.
45. Inoue Tadashi. Окисление Fe-Ni сплавов при высокой температуре. «*Тэцу то хаганэ*». 1987, 73 №5. 472 с. РЖ Металлургия №8, 1987, 8И688.
46. Безникелевые стали для отливок колосников холодильника цементных печей / К.И. Ващенко и др. *Литейное производство*. № 6. 1973. 22-23 с.
47. Хрущов М.М. Закономерности абразивного изнашивания. В кн.: *Износостойкость*. М.: Наука, 1975. 5-28 с.
48. Тепенбаум М.М. Сопротивление абразивному изнашиванию. М.: Машиностроение, 1976. 271 с.
49. Хрущев М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. М.: Наука, 1970. 252 с.
50. Тихонович В.И. Основы повышения износостойкости литых сплавов. В кн.: *Литые износостойкие материалы*. Киев, 1978. 3-18 с.
51. Сорокин Г.М. Прочность как основа механизма износостойкости сталей при абразивном изнашивании. *Вестник машиностроения*, №5, 1986. 12-15 с.

Додаток А

ПЕЧІ СПІКАННЯ РУДНИХ МАТЕРІАЛІВ



а - з холодильником барабанного типу;

б - з холодильником колосникового типу.

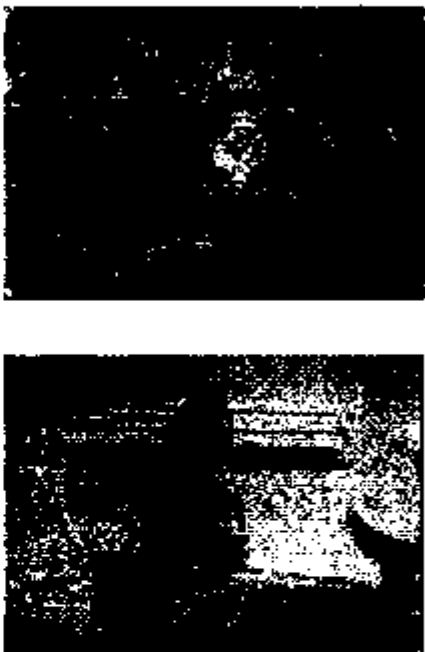
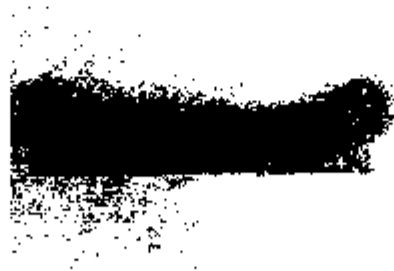
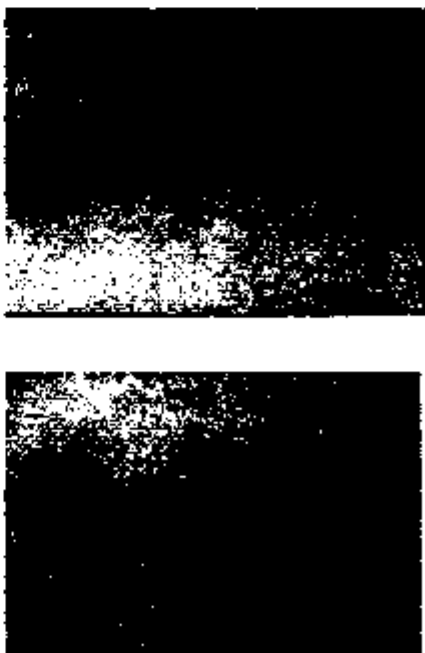
1-піч;

3-стояк;

2-пальник;

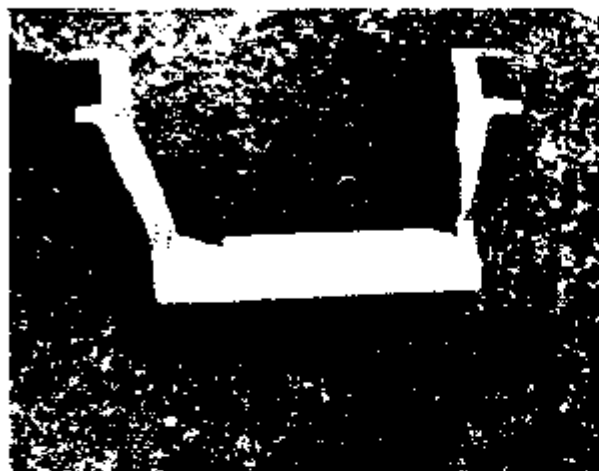
4-холодильник.

ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИЙ ЗНОС ВІДПОВІДАЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ ПЕЧЕЙ СПІКАННЯ

Деталі	до експлуатації	після експлуатації
ПОРОГОВА ПЛИТА		
БЕЗБОЛТО- ВА ПОЛКА		

ЗНОШЕНІ ЛИТІ ДЕТАЛІ ХОЛОДИЛЬНИКА 'ВОЛГА 125'

ЛАНКА ВОЛОКУШИ



ПОРОГОВА ПЛИТА



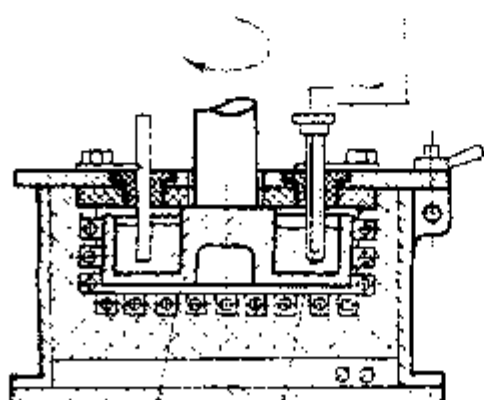
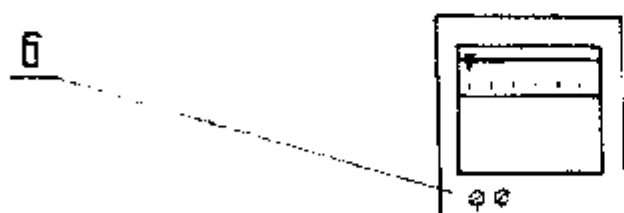
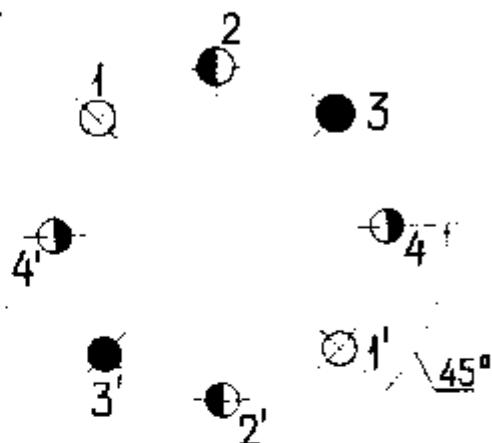
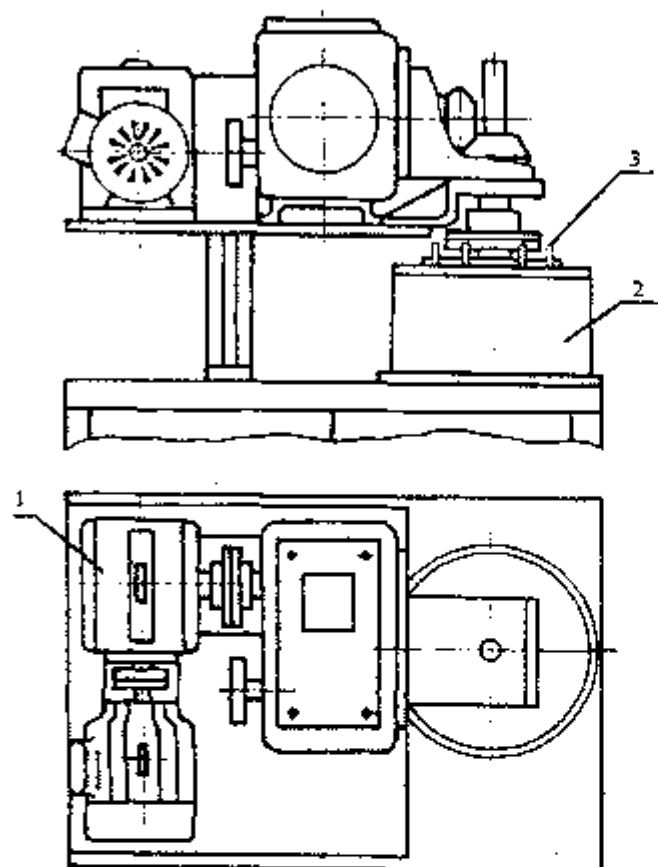
ЛАНЦЮГ КОНВЕСРА ПРОСИПУ



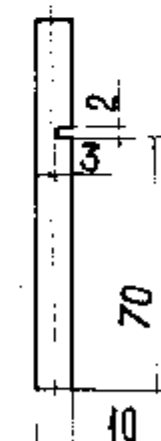
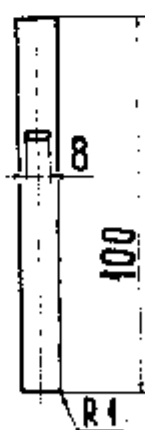
ОБІЧАЙКА ПЕЧІ СПІКАННЯ



УСТАНОВКА ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ВИПРОБУВАНЬ МЕТАЛІВ ПРИ АБРАЗИВНОМУ ЗНОШУВАННІ



4 5 — 220

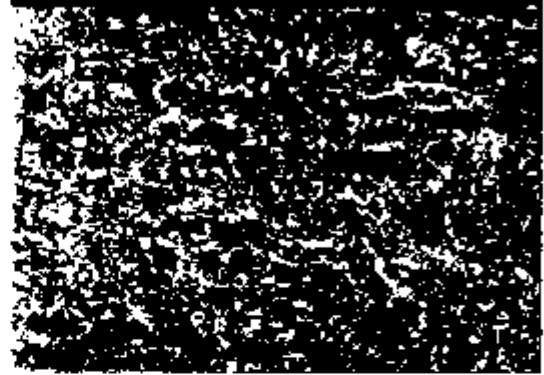


МІКРОСТРУКТУРА СПЛАВУ 100X27H3C2ТЛ

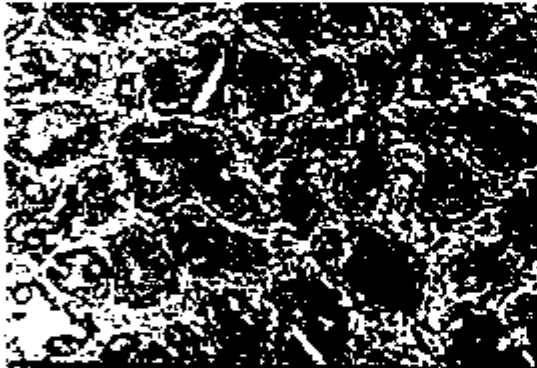
До експлуатації



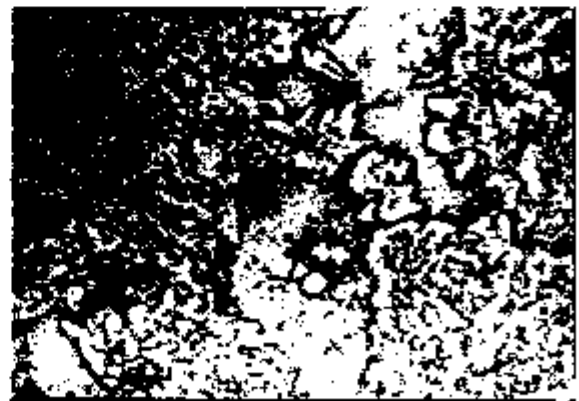
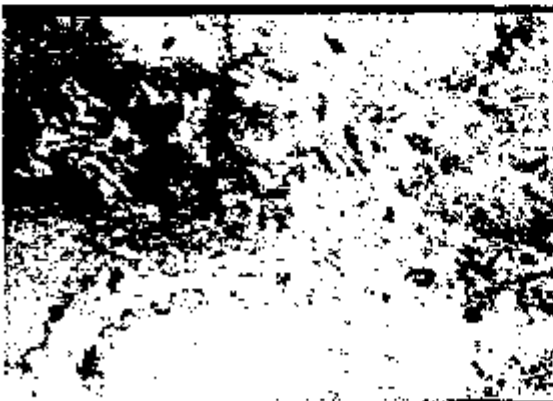
Після експлуатації



X200X4



X600X4



x1500x4

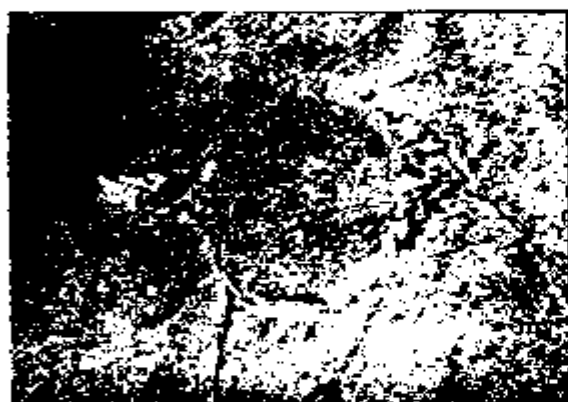
МЕХАНІЗМ РУЙНУВАННЯ СЕРІЙНОГО СПЛАВУ 40Х24Н12СІ



ДО ЕКСПЛУАТАЦІЇ



3000год



1000год



4000год

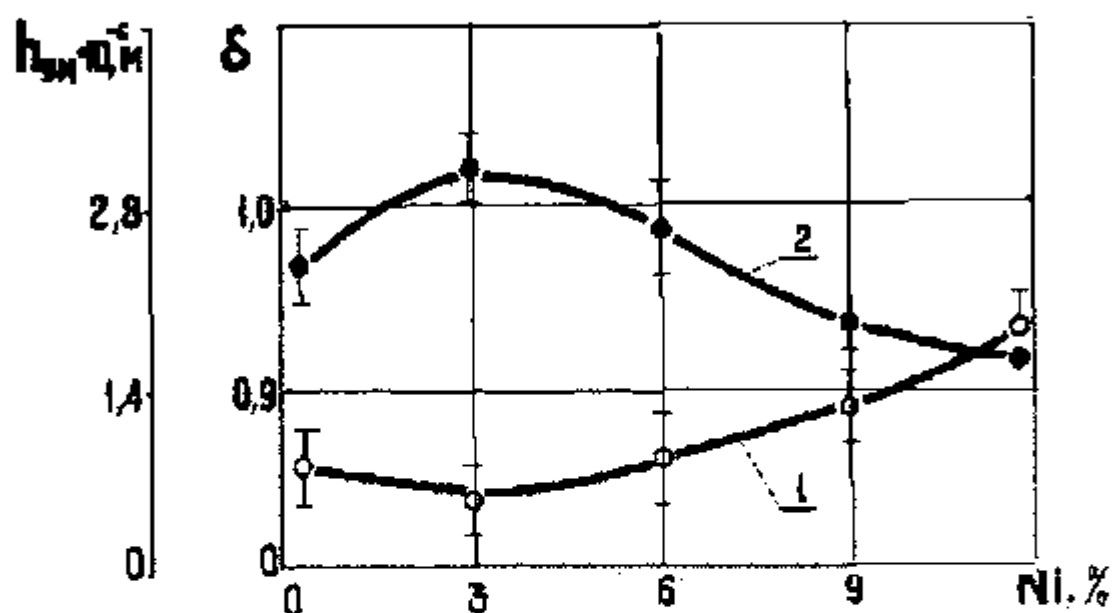


2000год



5000год

ВПЛИВ НІКЕЛЮ НА ЖАРОСТІЙКІСТЬ І ПОРІВНЯЛЬНУ ЗНОСОСТІЙКІСТЬ (ПРИ $T=1000^{\circ}\text{C}$) СПЛАВУ 100Х27С2Л

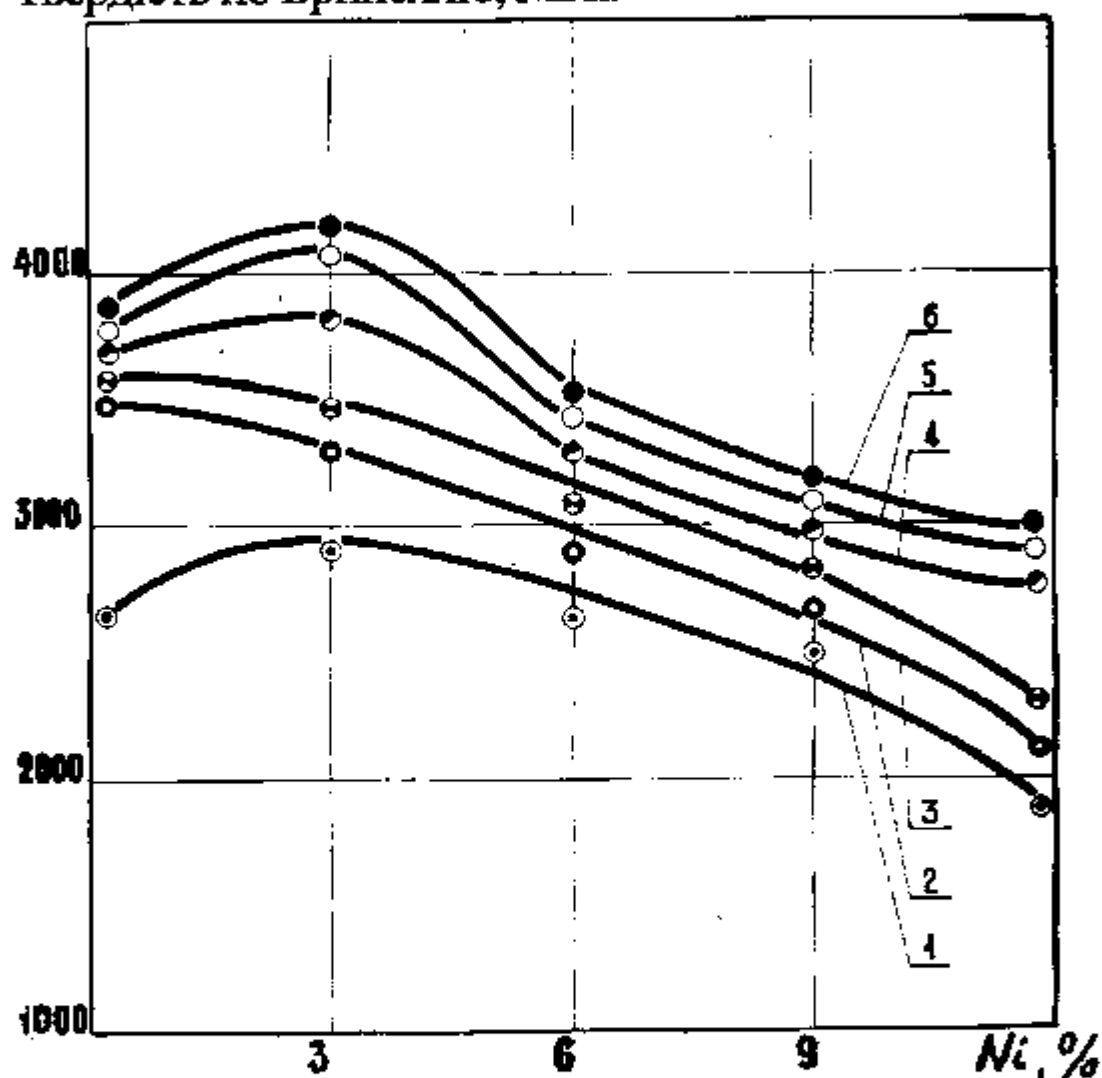


1-жаростійкість (h_{ym})

2-порівняльна зносостійкість ($K = \frac{\Delta P_{ki}}{\Delta P_{ip}}$)

ЗАЛЕЖНІСТЬ ТВЕРДОСТІ ВІД ВМІСТУ НІКЕЛЮ І ТРИВАЛОСТІ ВИТРИМКИ СПЛАВУ 100Х27С2Л

Твердість по Бринеллю, МПа



1- без витримки

2- 100 г

3- 300 г

4- 600 г

5- 900 г

6- 1200 г

З'єднання легкоплавкої фази сплаву 40Х24Н12СЛ



Субкарбіди



Субоксиди кремнію



Субоксиди хрому



Оксикарбідна суміш

МІКРОФРАКТОГРАМИ ВИВЧАЄМИХ СПЛАВІВ

40X24H12CЛ

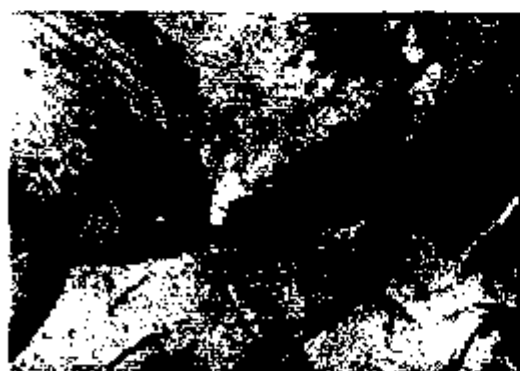
100X27H3C2ТЛ



ДО ЕКСПЛУАТАЦІЇ



2500год



5000год
X4000X6