

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет інженерно-архитектурний
(повне найменування інституту, факультету)
Кафедра фізико-матеріальної науки
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

Магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему Вплив модулів на термодинамічні характеристики матеріалів при кристалізації

Виконав: студент(ка) VI курсу, групи ІІ-2194

Спеціальності 32.03.01 Матеріалознавство
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація) Фізико-матеріальної науки
Фізика

Керівник Григор'єв О.А.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Кочубей В.В.
(прізвище та ініціали)

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

Інститут, факультет Технічний інженерно-технологічний
Кафедра Рідинного матеріалу металів
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність ВМ «Матеріалознавство»
(код і найменування)
Навчальна програма (спеціалізація) Тришарове матеріалознавство
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Кашин О.В.
«16» грудня 2020 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Прізвище, ім'я, по батькові Кашин Олександр Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)
Тема проєкту (роботи) Вплив напруження на механічні властивості металевих матеріалів при різній температурі
Рівень проєкту (роботи) Магістр О.В. Кашин
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
Затверджені наказом закладу вищої освіти від «02» жовтня 2020 року № 293
Строк подання студентом проєкту (роботи) 06.12.2020
Вихідні дані до проєкту (роботи) Робота виконується за формою, встановленою кафедрами ХТК, згідно з вимогами кафедри. Використовувати матеріали, розкриті в літературі.
Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналіз літературних джерел. 2) Вибір матеріалів для дослідження. 3) Розробка розрахунків. 4) Вибір методів обробки матеріалів. 5) Розробка графічного матеріалу у відповідності до вимог.
Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Матеріали розрахунково-пояснювальної записки, таблиці, графіки, схеми, малюнки, креслення, зображення, фотографії, відео, аудіо, інші матеріали, які використовуються в роботі.
Консультанти розділів проєкту (роботи) Олександр Кашин

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконав завдання
1-3	Григорук О.В.		
4	Курчак В.В.		
5	Насіренко О.В.		
Норматив	Костюк Д.В.		

7. Дата видачі завдання «05» Серпень 2020 року.

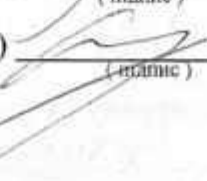
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

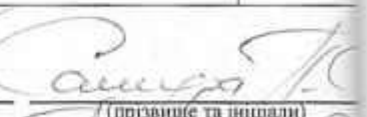
№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Визначення мети та завдань	3.09.2020	
2.	Визначення методів дослідження	18.09.2020	
3.	Визначення засобів дослідження	22.10.2020	
4.	Визначення засобів дослідження	2.11.2020	
5.	Визначення засобів дослідження	23.11.2020	

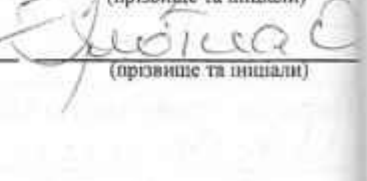
Студент(ка)

Керівник проекту (роботи)


 (підпис)


 (підпис)


 (прізвище та ініціали)


 (прізвище та ініціали)

дата
прийма
виконав
завданн

РЕФЕРАТ

ПЗ: 76 стр., рис. 24, табл. 10

Об'єкт дослідження – жароміцні нікелеві сплави рівновісної кристалізації

Мета: моделювання основних теплофізичних властивостей сплавів відносно їх хімічного складу.

В роботі розглянута проблема математичного моделювання теплофізичних властивостей жароміцних нікелевих сплавів рівновісної кристалізації. Вивчені основи легування сплавів та принципи вибору температури термічного оброблення. Встановлено коефіцієнт, за допомогою якого можна з великою точністю прогнозувати температури фазових перетворень. Встановлено, що розрахункові данні тісно корелюють з практичними результатами.

Приміт

(підпи)

(підпи)

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

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Огляд літературних джерел.....	7
1.1 Загальна характеристика нікелевих жароміцних сплавів, їх структура і фазовий склад.....	7
1.2 Основні легуючі елементи нікелевих жароміцних сплавів.....	10
1.3 Елементи, що підвищують корозійну стійкість.....	13
1.4 Тугоплавкі елементи.....	14
1.5 Карбідоутворюючі елементи.....	16
1.6 Мікролегуючі елементи.....	17
1.7 Особливості легування і термообробки ливарних жароміцних нікелевих сплавів.....	18
2 Матеріали і методики дослідження.....	21
2.1 Матеріали досліджень.....	21
2.2 Обробка результатів методом найменших квадратів.....	22
2.3 Металографічні дослідження.....	23
3 Результати досліджень та їх обговорення.....	24
4 Техніко-економічне обґрунтування.....	30
4.1 Планування науково-дослідних робіт.....	31
4.2 Розрахунок витрат на проведення НДР.....	34
4.3 Розрахунок економічної ефективності НДР.....	41
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	44
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	44
5.2 Заходи щодо виробничої санітарії та гігієни праці.....	51
5.3 Заходи з пожежної безпеки.....	56
5.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	58
Висновки.....	63
Перелік посилань.....	64
Додаток А.....	69

ВСТУП

Для успішного розвитку економіки України необхідно підвищення конкурентоспроможності високотехнологічної продукції на внутрішньому та зовнішньому ринках, засноване на модернізації наукової і промислової сфери. Багаторічна практика показує, що більше 80% інноваційних розробок базується на впровадженні нових матеріалів і технологій їх виробництва. Тому, важливу роль відіграє розробка і впровадження нових жароміцних матеріалів з поліпшеним комплексом службових властивостей в провідних галузях вітчизняної промисловості.

У світовій практиці протягом тривалого часу емпіричний метод залишається основним при розробці жароміцних матеріалів. Стає очевидним, що пошук оптимального складу сплаву з необхідними властивостями є складне і наукомістке завдання.

Сучасне матеріалознавство в своєму розвитку підійшло до того, що емпіричний шлях перестає задовольняти вимогам до темпу і якості створення нових жароміцних матеріалів. Проблема розробки нових сплавів з необхідними властивостями може бути вирішена тільки на основі комплексного використання методів класичного металознавства, фізики металів, а також розрахунково-аналітичних методів.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Загальна характеристика нікелевих жароміцних сплавів, їх структура і фазовий склад

Створення в середині минулого століття в Англії першого дисперсно-зміцненого сплаву типу Nimonic 80 для виготовлення робочих лопаток газових турбін методом обробки тиском дозволило відкрити нові перспективи в розвитку жароміцних матеріалів на нікелевій основі. З тих пір вони стали основними матеріалами лопаток авіаційних газотурбінних двигунів (ГТД), а тепер і корабельних [1-5], енергетичних, газоперекачувальних газотурбінних установок (ГТУ).

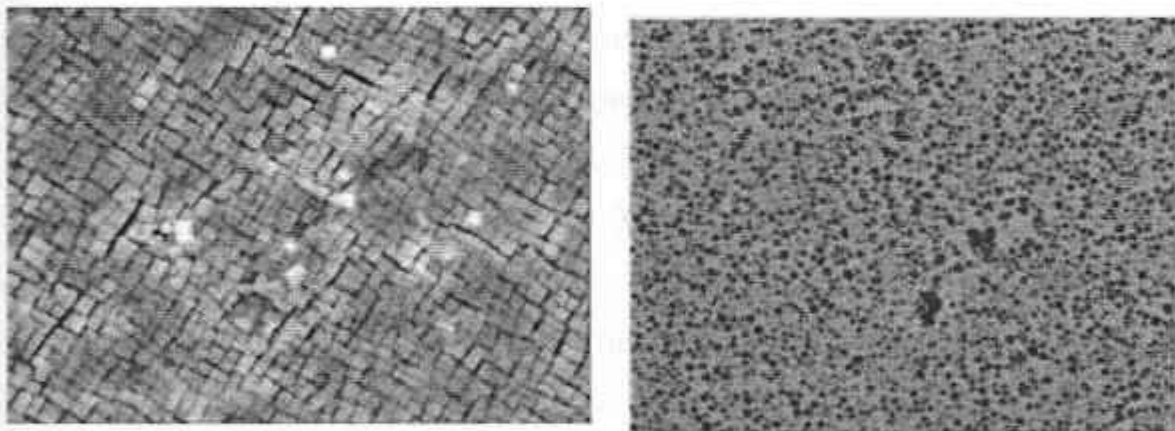
Подальший їх розвиток і вдосконалення пов'язане з ім'ям академіка С. Т. Кишкина і співробітників ВІАМ. Ними було доведено, що найбільша перспектива підвищення рівня жароміцності пов'язана не з деформованими сплавами, а з ливарними.

Всі жароміцні нікелеві сплави класифікуються як дисперсно-зміцнюючі матеріали. Основною зміцнюючою фазою в цих сплавах є γ' -фаза на базі інтерметаллідного з'єднання $Ni_3(Al, Ti)$. Рівень жароміцності сплаву багато в чому залежить від її кількості в матеріалі, морфології, розміру і стабільності при високих температурах (в тому числі в умовах впливу комплексу статичних, втомних і термічних навантажень) [5-10].

Прийнято вважати, що для досягнення максимальної ефективності зміцнюючого впливу γ' -фази її розмір повинен бути мінімальний, а кількість максимально. Це досягається термічною обробкою литих заготовок, суть якої полягає в повному розчиненні первинної γ' -фази і подальшому її виділенні в процесі старіння сплаву у вигляді вторинної зміцнюючої фази. При цьому після розчинення первинної γ' -фази заготовки охолоджуються до температури нижче початку розчинення γ' -фази зі швидкістю $80-100^\circ C / \text{хв}$ або вище. При таких

Швидкостях охолодження зворотнє виділення фази відбутися не встигає і вона залишається зафіксованою в розчиненому вигляді в γ -матриці (перенасичений γ - γ' твердий розчин). Незважаючи на це утворюється велика кількість "зародків" фази, з яких в процесі старіння виростає вторинна γ' - фаза [11-13].

Жароміцність сплавів залежить не тільки від об'ємного вмісту і дисперсності зміцнюючої γ' - фази, але також від періодів кристалічних решіток (a_γ) і ($a_{\gamma'}$) фаз, і величини їх розмірної невідповідності («МІСФІТА»). Причому оптимальне значення параметра - МІСФІТА знаходяться на рівні $\sim (0,15 - 0,35)\%$. В цьому випадку зміцнююча γ' - фаза має чітко виражену кубічну форму (рис. 1.1) і володіє найбільшим зміцнюючою дією. Якщо ж значення параметра кристалічної решітки зміцнюючої фази буде більше зазначеної величини, або вони будуть рівні, то γ' - фаза приймає сферичну форму, а її ефективність як узміцнювача буде нижче (рис. 1.2).



а

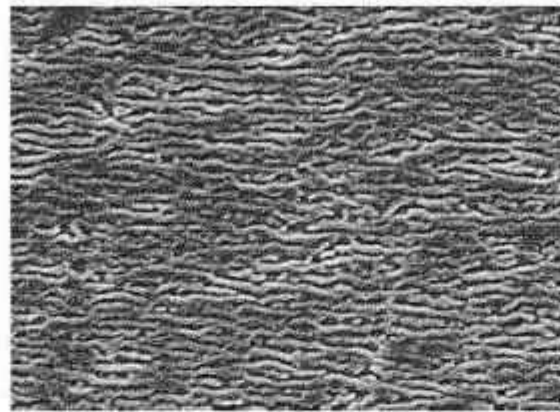
б

а - при значенні $a_{\gamma'} < a_\gamma$; б - при значенні $a_{\gamma'} > a_\gamma$

Рисунок 1.1 - Структура жароміцного нікелевого сплаву

В процесі експлуатації деталей під впливом високих температур і навантажень відбувається деградація структури, при цьому вторинна γ' - фаза починає коагулювати певним чином і утворювати так звану рафт-структуру (рис.

1.2). Характер коагуляції залежить від виду і напрямку деформуючого навантаження і досить детально розглянуто авторами [14-16].



×10000

Рисунок 1.2 – Рафт-структура нікелевого жароміцного сплаву.

Крім γ' - фази, цілеспрямовано виділяється для зміцнення, в ряді випадків в сплаві можуть утворюватися топологічно щільнопаковані (ТЩП) фази. Вони являють собою інтерметаллідним з'єднання на основі хрому і тугоплавких елементів, таких як реній і вольфрам. Ці фази мають пластинчасту форму і відрізняються високою крихкістю. Зазначені фактори різко знижують характеристики міцності сплаву, так як є концентраторами напружень і провокують утворення тріщин. Найчастіше ТЩП- фази утворюються в процесі експлуатації деталей при високих температурах і навантаженнях (рисунок 1.3), але також можуть виділятися і в виливках, як без термічної обробки, так і після неї у випадках високого ступеня легування сплаву елементами, що входять до складу ТПУ- фаз і знижують фазову стабільність матеріалу.

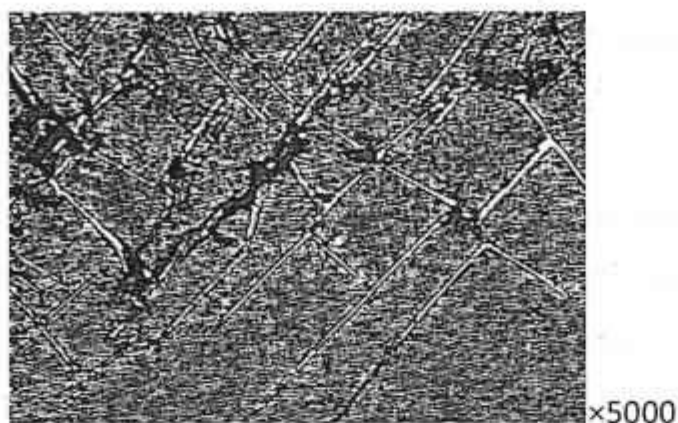


Рисунок 1.3 – Зона руйнування зразка з ливарного никелевого жароміцного сплаву по скупченню ТЩУ- фаз,

Серед вчених є думка про те, що істотний вплив на працездатність сплаву наявність ТЩУ- фаз починає проявлятися тільки при досягненні їх певної концентрації в матеріалі. Зокрема, в публікаціях [17-19] вказується на різке зниження працездатності сплаву при вмісті в ньому більше 7% (мас.) топологічно щільнопакованих фаз. Однак виконані в рамках даної роботи дослідження вказують на критичне підвищення впливу ТЩУ- пластин при їх вмісті більше 3%.

Таким чином, зазначена проблема є недостатньо вивченою і вимагає додаткових досліджень впливу топологічних щільнопакованих фаз на властивості конкретних груп жароміцних нікелевих сплавів. Варто відзначити, що найбільш критичним є не середня частка ТЩУ- фаз в сплаві, а їх найбільша щільність в локальних скупченнях. Найбільш гостро ця проблема бачиться в монокристальних сплавах схильних до підвищеної дендритної ліквідації. Як показує практика досліджень, найбільш схильними до утворення ТЩУ- з'єднань є осі дендритів, що кристалізуються в першу чергу при формуванні виливки і тому найбільш збагачені тугоплавкими елементами.

Менш небезпечними, але також небажаними в структурі жароміцних сплавів, є α - фази (зокрема, α -Cr, α -W і ін.), в які йдуть зі сплаву важливі елементи (в т.ч. W). В результаті цього їх концентрація в сплаві і відповідно реалізується з їх допомогою зміцнюючий ефект помітно знижується.

1.2 Основні легуючі елементи нікелевих жароміцних сплавів

Сучасні нікелеві жароміцні сплави являють собою складнолеговані системи, до складу яких входить до 15 різних елементів, причому деякі з них одночасно входять до складу різних фаз і по різному впливає на властивості. В цілому всі легуючі елементи, що вводяться в сплав, можна розділити на чотири основні групи в залежності від їх призначення.

Титан і алюміній. Основною зміцнюючою фазою в нікелевих жароміцних сплавах є γ' - фаза на основі $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$, кількість якої, головним чином, залежить від змісту в сплаві алюмінію і титану. Проте наголошується, що перевищення сумарної концентрації цих елементів понад граничного значення призводить до утворення евтектичних γ' - фази, зміцнюючий ефект якої значно нижче. Крім того, підвищений ступень легування цими елементами призводить до зростання температури повного розчинення основної зміцнюючої γ' - фази, що звужує "вікно" термічної обробки і, відповідно негативно позначається на технологічності матеріалу.

Важливим критерієм є не тільки сумарна концентрація титану і алюмінію в сплаві, але і їх співвідношення. Дослідження [20-22] вказують на високу ефективність введення в сплав рівної кількості алюмінію і титану.

Титан значно уповільнює швидкість коагуляції частинок γ' - фази і в результаті має більш активний вплив на зміцнення γ' - фази. Однак його надлишок стимулює утворення тендітних δ - і η - фаз, що мають пластинчасту форму. Зокрема в роботі [20] вказано, що пластинчасті η - фази починають активно виділятися при перевищенні атомної концентрації титану більш ніж в 1,45 рази по відношенню до алюмінію. Крім того автори [20] рекомендують дотримуватися вимоги $(\text{Ti} + \text{Nb} + \text{Ta}) / \text{Al} \approx 1$. А розробники з фірми Rolls-Royce рекомендують дотримуватися співвідношенню концентрацій (в% ат.) $\text{Al} / (\text{Ti} + \text{Ta}) = 0,6 \div 0,75$.

Роботами, виконаними в Японії [21] встановлено негативний вплив підвищених концентрацій титану в сплавах з високим вмістом хрому на швидкість процесу виділення топологічно щільноупакованих σ -фаз. Крім того можливе виділення пластин η -фаз на базі з'єднання Ni_3Ti , температура розчинення якого перевищує температуру повного розчинення зміцнюючої γ' -фази. Таким чином, цей факт повністю виключає можливість усунення цих виділень в процесі термічної обробки. Відзначено, що збільшення концентрацій титану можливо при одночасному підвищенні вмісту кобальту і зниженні хрому, тоді вдається знизити схильність сплаву до утворення σ - і η -фаз.

Ніобій є γ' -утворюючим елементом, що підвищує температуру повного розчинення основної зміцнюючої фази. Зазвичай його використовують в кількості, що не перевищує 3% (мас.) [23]. Крім того, деяка частина ніобію присутній і в γ -матриці. Таким чином, він забезпечує не тільки більшу ефективність γ' -фази, але і виконує твердорастворне зміцнення. Крім збільшення жароміцності сплаву, його одночасна присутність в упрочнюючій фазі і в матриці забезпечує ослаблення дифузійних процесів і як наслідок знижує схильність сплаву до «перестаріванню», що покращує структурну стабільність і збільшує робочий ресурс. Також для нього характерно сприятливе дію на зниження схильності жароміцних нікелевих сплавів до зональної ліквідації [24].

Розробниками сплаву ME3 з фірм General Electric і Pratt & Whitney [25] встановлено, що для вивченої ними області легування ніобій благотворно впливає на межу міцності і довговічності. Відзначається його вплив на зростання межі текучості.

Відповідно до проведених досліджень [26], ніобій володіє сильнішим зміцнюючим ефектом, ніж титан, однак, його надмірний вміст негативно позначається на пластичності матеріалу і знижує його стійкість до утворення тріщин. Крім того зазначається його висока чутливість до танталу і основним γ' -утворюючим легируючим елементів (титан і алюміній). При високій сумарній концентрації ніобію, титану і танталу рекомендується вводити в сплав алюміній в

такій же кількості. В іншому випадку це може стати причиною утворення інтерметаллідних δ - з'єднань на основі $\text{Ni}_3(\text{Nb}, \text{Ta})$ і η - з'єднань на основі його збільшення Ni_3Ti .

З цих причин в ливарних жароміцних нікелевих сплавах, призначених для лопаток турбін, ніобій вводиться до складу обмежено і його концентрація рідко перевищує 1% (мас.).

1.3 Елементи, що підвищують корозійну стійкість

Хром є головним елементом в жароміцних нікелевих сплавах, що забезпечує його стійкість в умовах високотемпературної газової і сольовий корозії. Особливо це якість актуально для морських газотурбінних установках, призначених для роботи в умовах активного впливу морського середовища (сольовий туман) і працюють надешевому і низькоякісному паливі (попутний природний газ і дизельне паливо), що мають значну кількість сірки, ванадію та інших шкідливих домішок.

Також відзначається [27], що легування хромом робить позитивний вплив на опір росту втомних тріщин. При використанні хрому необхідно враховувати, що його основна кількість знаходиться в γ - фазі і в сложнолегірованих системах, що володіють збільшеною кількістю зміцнюючої γ' - фази, частка γ -матриці буде нижче. А отже таке ж вміст хрому в сплаві призведе до збільшення його концентрації в γ - фазі. Таким чином він може посприяти збільшенню схильності сплаву до утворення α -Cr, μ - і σ -фаз і як наслідок зниження міцності властивостей матеріалу [28, 29].

Кобальт, як і хром, цей елемент чинить негативний вплив на величину $T_{\text{пр}}$ [30], однак його надмірна кількість здатне не тільки розширити технологічний інтервал термічної обробки сплаву $T_{\text{пр}} - T_s$, а й знизити опір матеріалу

високотемпературної повзучості [31]. З цих причин концентрація кобальту в ливарних нікелевих жароміцних сплавах зазвичай коливається в інтервалі від 5 до 13% мас., А для сплавів, що деформуються від 13 до 20% мас.

Крім того, кобальт здійснює твердорастворне зміцнення і є одним з елементів, що підвищує стійкість матеріалу до сольовий корозії.

Кремній прийнято вважати [32], що в ливарних нікелевих жароміцних сплавах кремній є шкідливою домішкою. Встановлено [33], що присутність кремнію збільшує об'ємний вміст легкоплавких фаз, а також стимулює утворення топологічно щільноупакованих фаз. В роботі [28], присвяченій вивченню розподілу кремнію між фазами в сплаві ЖС6К, вказано, що основна частка кремнію (близько 60%) знаходиться в γ' - фазі, приблизно 8-10% кремнію переходить в карбіди, а частина, що залишилася розчиняється в γ - матриці сплаву.

Одночасно, у міру збільшення концентрації кремнію в сплаві, спостерігається зниження температур фазових перетворень, також відзначається різке зниження пластичності і зростання темпу коагуляції упрочняющей γ' -фази [34].

Незважаючи на зниження рівня високотемпературної працездатності сплаву, кремній сприяє суттєвому підвищенню корозійної стійкості.

1.4 Тугоплавкі елементи

В даний час діапазон легування вольфрамом для існуючих ливарних лопаткових нікелевих сплавів знаходиться в діапазоні від 0 до 12,5%. Це пов'язано з рядом причин. Будучи одним з легуючих елементів, присутніх і в основний зміцнюючої γ' - фазі (більшою мірою) і в γ - твердому розчині, він одночасно збільшує стабільність γ' - фази і ефективно виконує твердорочинне зміцнення. З одного боку підвищення концентрації вольфраму в сплаві збільшує опір сплаву

високотемпературної повзучості, з іншого, підвищується швидкість росту втомних тріщин. Крім того він є одним з важких тугоплавких легуючих елементів, використання якого призводить до збільшення щільності сплаву.

Молибден також одночасно присутня і в γ -матриці і в зміцнючій фазі, але на відміну від вольфраму його основна частина знаходиться в γ -твердому розчині. Він одночасно підвищує і міцність сплаву і його термостабільність. Однак він дещо поступається за ефективністю зміцнення вольфраму, але незважаючи на це, залишається найбільш поширеним елементом у нікелевих жароміцних сплавах завдяки меншій вартості і щільності в порівнянні з вольфрамом. Наявність молибдену в невеликих кількостях в сплавах дозволяє підвищити його стійкість до сульфідної корозії в порівнянні зі сплавами, в складі яких він відсутній [35].

Незважаючи на зазначені гідності у великих кількостях він, як і вольфрам призводить до підвищення питомої ваги сплаву і в поєднанні з високими концентраціями хрому призводить до структурної нестабільності матеріалу.

Як легуючий елемент реній став використовуватися в кінці 80-х років в ливарних жароміцних сплавах II-покоління, в складі яких його концентрація може досягати 3-4% (мас.) [36]. Першим вітчизняним сплавом, легованим ренієм став ЖС 32, що містить 4 % (мас.).

Пікових концентрацій реній досяг в ливарних сплавах III-покоління, зокрема, в сплаві ЖС47 (ВЖМ-1) його зміст становить 9% (мас) [37].

Реній є найбільш ефективним елементом, що підвищує жароміцність нікелевих сплавів [33]. У сплаві він концентрується в γ -твердому розчині і, володіючи низькою дифузійної рухливістю, зміцнює його і гальмує процес коагуляції зміцнючої γ' - фази і підвищує її стабільність.

Введення цього елемента в сплав забезпечує формування більш дрібнодисперсних частинок γ' - фази при її утворенні з γ - твердого розчину і уповільнює її подальше розчинення при підвищених температурах.

Тантал як і реній ефективно уповільнює дифузійні процеси забезпечує твердорастворное зміцнення і стабілізує γ' - фазу. Таким чином, спільне легування

ренієм і танталом сплаву ЖС32 забезпечило збільшення температурного рівня працездатності більш ніж на 40°C в порівнянні зі сплавом ЖС26, які мають аналогічний склад, але не містять цих елементів [38].

Крім ефективного зміцнення γ' - фази, він активно утворює карбіди типу MC, які більш міцно пов'язані матрицею. Недостатнє легування сплаву танталом сприяє зростанню повзучості і знижує опір розвитку втомних тріщин, проте його надлишок призводить до небажаного збільшення питомої ваги сплаву і підвищує температуру повного розчинення γ' - фази [36].

Так як високотемпературна працездатність сплавів головним чином залежить від ступеня термодинамічної стабільності [37, 38], в Україні, на кафедрі «Фізичне матеріалознавство» НУ «Запорізька політехніка», на прикладі жароміцного сплаву для лопаток ГТУ ЗМІ-3У, методами ДТА був досліджений вплив танталу на зміну характеристичних точок сплаву [39]. В результаті було встановлено, що при збільшенні змісті танталу від 0 до 5% (мас.) Спостерігається зниження температури ликвидус на 25°C . При цьому, будь-якого впливу танталу на температуру солідус не зафіксовано. Таким чином виявлений ефект звуження інтервалу кристалізації вказує на ефективність танталу як елемента підвищує однорідність сплаву за рахунок зниження рівня дендритних лікваций.

Крім того збільшення концентрації танталу призвело до підвищення температур початку та повного розчинення γ' - фази на 110 і 60°C відповідно, а температура евтектичних перетворень збільшується на 45°C .

Таким чином, легування танталом забезпечує підвищення температурної працездатності сплаву, але при цьому звужує "температурне вікно" гомогенізації (Тевт - Тп.р.).

1.5 Карбідоутворюючі елементи

Вуглець є елементом, що забезпечує утворення в сплаві карбідів. Наявність карбідних утворень сферичної форми забезпечує додаткове дисперсне зміцнення γ -матриці. Також, наявність включень карбідів в значній мірі гальмує дифузійні процеси на межі зерен. Однак присутність карбідів в сплавах в значній мірі знижує температури ліквідус і солідус.

З появою жароміцних сплавів з більш ефективною монокристалічною структурою, необхідність в зміцненні кордонів зерен відпала. З цієї причини для всіх сучасних монокристалічних сплавів вуглець є шкідливою домішкою і його кількість в них всіляко мінімізується.

Гафній є одним з рідкісних легуючих елементів, що забезпечує одночасне збільшення як пластичності нікелевих жароміцних сплавів, так і їх міцності властивостей [21]. В даний час він вводиться майже в усі ливарні жароміцні сплави на нікелевій основі, в яких його концентрація коливається від 0,03 до 0,8% (мас.). Будучи сильним карбідоутворюючим елементом, він здатний чинити сильний вплив на морфологію карбідів. Його використання дозволяє уникнути утворення карбідів MC у вигляді "китайських ієрогліфів", перетворюючи їх в набагато більш ефективну сферичну форму.

Важливою особливістю цього елемента є його здатність зв'язуватися з сіркою, утворюючи при цьому більш стійкі сульфіди [20]. Цей фактор є найбільш актуальним в сплавах, що використовуються для лопаток газових турбін, що експлуатуються в умовах активного впливу морського середовища.

Однак необхідно відзначити, що гафній є одним з елементів, що знижують температуру перитектического ($L + \gamma \rightarrow \gamma'$) і евтектичного ($L \rightarrow \gamma + \gamma'$) перетворень, сприяючи, таким чином, виділення нерівноважних евтектичних / перитектичних фаз, що підвищує небезпеку локального оплавлення сплаву в процесі термічної обробки [40]. Також відзначається негативний вплив гафнію на параметр

«МІСФІТА», в результаті якого γ' - фаза починає набувати сферичну форму, що володіє в порівнянні з кубічної меншою зміцнюючою ефективністю.

1.6 Мікролегуючі елементи

Мікролегуючими називають елементи, цілеспрямовано вводяться до складу сплаву в концентраціях на рівні декількох сотих часток відсотка. До них відносяться бор, ітрій і рідкоземельні метали, такі як лантан, церій і ін. В основному їх вводять для зміцнення кордонів зерен. У монокристалічних сплавах лантан, церій і ітрій використовують для зміцнення міжфазних кордонів, також їх добавки дозволяють істотно підвищити стійкість до високотемпературної корозії.

Зокрема, в роботі [41], спрямованої на дослідження впливу легування лантаном монокристалічного нікелевого жароміцного сплаву ВЖМ4, автори вказують, що мікролегування сплаву ВЖМ4-ВІ лантаном дозволяє в 1,5-2,0 рази збільшити його стійкість до високотемпературної газової корозії.

1.7 Особливості легування і термообробки ливарних жароміцних нікелевих сплавів

В даний час для виготовлення лопаток турбін морських і стаціонарних ГТУ все більш широке застосування знаходить технологія спрямованої кристалізації, запозичена з авіа- космічній галузі.

Ключовою особливістю роботи жароміцних сплавів для стаціонарних і морських ГТУ є тривалий (десятки тисяч годин) ресурс в поєднанні невисокими в порівнянні з авіаційними сплавами температурами експлуатації (до 900 С°) в

умовах активного впливу продуктів згоряння палива. У зв'язку з цим, до таких матеріалів пред'являються особливо підвищені вимоги до фазової стабільності і стійкості до сольовий і газової корозії. З цією метою вміст хрому в таких сплавах знаходиться на рівні 12 - 16% (Мас.) [42].

Для підвищення тривалої високотемпературної працездатності нікелевих жароміцних сплавів, незалежно від призначення, простежується тенденція збільшення ступеня легування сплаву тугоплавкими металами (W, Ta, Mo і Re), що дозволяє загальмувати дифузійні процеси і знизити темп деградації структури, а також підвищити температури фазових перетворень T_s і $T_{пр}$. Варто відзначити, що з економічних причин Re як легуючий елемент в ЖНС для ГТУ майже не використовується. З цих же причин в більшості вітчизняних корозійностійких жароміцних сплавах на нікелевої основі тантал не використовується. У цих сплавах відсутність цього елемента компенсується більш високим вмістом основних γ' -утворюючих елементів Al і Ti [43,44]. Однак у даний момент можливості подальшого збільшення концентрацій цих елементів вже вичерпані.

Крім того варто зазначити, що жароміцні нікелеві сплави для ГТУ в порівнянні з авіаційними менш леговані тугоплавкими елементами і мають меншу об'ємною часткою упрочнюючої γ' - фази. Перш за все це пов'язано з рівнем робочих температур, яка близька до температури початку розчинення γ' - фази. Тому її зміст при кімнатній і робочій температурах відрізняються незначно. Умови експлуатації цього класу сплавів такі, що інтервал робочих температур (850-900 °С) збігається з початком розчинення зміцнюючої. В авіаційних сплавах, що працюють при температурах 1000-1100° С, необхідно мінімізувати відсоток розчинення зміцнюючої фази, з цією метою прагнуть збільшити температуру її повного розчинення.

Необхідний комплекс властивостей, закладений в сплаві при легуванні і виплавці, може бути отриманий тільки при правильному виборі термічної обробки, яка визначає кінцеву структуру і її термічну стабільність.

Для сплавів з монокристалічною структурою термічна обробка має більше значення, ніж для сплавів РК і НК, оскільки в складі цих сплавів відсутні С, В, Zr, Hf, що знижують солідус, то логічно проводити гомогенізацію при більш високій температурі в межах вікна термообробки: $\Delta T_{\text{го}} = T_s - t_{\text{пр}}$.

Час гомогенізації ЖНС 1-го покоління для спрямованої кристалізації і монокристалічного литва складає 4 - 6 ч. Для ренійвмістних сплавів воно значно більше, так як реній має низький коефіцієнт дифузії D і, крім того, істотно сповільнює дифузионну рухливість атомів всіх інших сегрегуючих елементів в γ -твердому розчині. Так, гомогенізація ЖНС CMSX-4 здійснюється протягом 16 год при багатоступеневому нагріванні. Ще більш тривала гомогенізація необхідна для ЖНС 3-го покоління. Зокрема, для монокристалів сплаву CMSX-10 тривалість гомогенізації становить 30 - 40 год при температурі 1366 °С. Але навіть при таких високих температурах і тривалих витримках не вдається повністю усунути сегрегацію W і Re.

Удосконалення жароміцних нікелевих сплавів для спрямованої кристалізації і монокристалічного литва лопаток авіаційних ГТД і стаціонарних ГТУ здійснюється шляхом одночасного підвищення термодинамічних параметрів фазової стабільності (температур γ' - сольвус і солідус) і об'ємної частки зміцнюючої γ' -фази за рахунок збалансованого збільшення вмісту тугоплавких (Re, Mo, W, та) та γ' - утворюють (Al, Ti, та) металів [44].

Виходячи з вище розглянутого матеріалу метою даної роботи є отримання прогнозують регресійних моделей, за допомогою яких, можна адекватно розраховувати критичні температури для ЖНС рівновісної кристалізації, без проведення попередніх експериментів.

2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Матеріали досліджень

В роботі використані промислові жароміцні ливарні нікелеві сплави різновісної кристалізації наступних хімічних складів (табл. 2.1)

Таблиця 2.1 - Хімічний склад досліджених ливарних ЖНС

Марка сплаву	Вміст елементу, % за масою														
	C	Cr	Co	Al	Ti	Mo	W	Nb	Ta	Hf	V	Re	Ru	Zr	B
ЗМП-ЗУ	0,12	13,3	5,0	3,4	4,8	0,9	7,3	-	-	-	-	-	-	-	0,015
ЖС6К	0,18	10,6	4,5	5,7	2,8	4,0	5,1							0,04	0,015
ЖС6У	0,16	8,8	9,8	5,6	2,4	1,8	10,3	1,0	-	-	-	-	-	0,04	0,025
ЧС70	0,09	15,8	10,7	2,8	4,6	2,0	5,5	0,2	-	-	-	-	-	0,050	0,020
ЖСЗЛС	0,09	16,0	5,0	2,7	2,7	4,0	4,0	-	-	-	-	-	-	0,015	0,015
ЖСЗЛС-М	0,10	14,5	4,5	3,0	3,0	2,0	6,5	-	2,5	0,3	-	-	-	0,015	0,015

Продовження таблиці 2.1

ВЖЛ12Е	0,18	9,4	9,0	5,4	4,5	3,1	1,4	0,75	-	-	0,75	-	-	0,020	0,011
ІН-939	0,15	22,5	19,0	1,9	3,7	-	2,0	1,0	1,4	-	-	-	-	0,100	0,010
ІН-738	0,10	16,0	8,5	3,4	3,4	1,75	2,6	0,9	1,75	-	-	-	-	0,050	0,010

2.2 Обробка результатів методом найменших квадратів

Математична обробка експериментальної статистики за класом ливарних ЖНС була здійснена в стандартному програмному комплексі Microsoft Office в пакеті MS EXCEL методом найменших квадратів (МНК) з отриманням функцій відгуку, які оптимально описують залежність між двома змінними (x , y).

Обробка експериментальної бази даних (БД) за групами основних параметрів, що впливають на працездатність ливарних ЖНС, зводилася до отримання кореляційного поля з побудовою ліній трендів, які найбільш оптимально описують залежності типу «склад-властивість» або «параметр-властивість» математичними рівняннями регресійних моделей (РМ) різних типів функцій, що мають загальний вигляд: лінійна $y = a \cdot x + b$; поліноміальна $y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$ - квадратична (x^2), кубічна (x^3), поліноміальна (x^4) функція; логарифмічна $y = a \cdot \ln(x) + b$; експоненціальна $y = a \cdot \exp^{bx}$; статична $y = a \cdot x^b$.

Побудова ліній трендів з отриманням математичних рівнянь регресійних моделей здійснювалося в два етапи: вибір виду функції і обчислення її параметрів. Кореляційний зв'язок між змінними отриманих регресійних моделей оцінювався за значенням множинного коефіцієнта детермінації (R^2), званого також квадратом

коефіцієнта множинної кореляції. Значення (R^2) знаходиться в межах інтервалу від 0 до 1.

Якщо значення (R^2) близько до 1, то побудована регресійна модель пояснює майже всю мінливість відповідних змінних, і навпаки, якщо значення (R^2), близько до 0, то це означає погану якість побудованої регресійної моделі. Коефіцієнт детермінації (R^2) показує, наскільки відсотків ($R^2 \cdot 100\%$) знайдена функція регресії описує зв'язок між вихідними значеннями факторів (x, y).

2.3 Металографічні дослідження

Мікроструктура досліджувалася за допомогою травлення поверхні шліфів реактивом Марбле (CuSO_4 - 4 г, HCl - 20 мл, вода - 20 мл) за режимом: травлення 10...15 секунд, промивка водою, сушка гарячим повітрям. Для виявлення γ' - фази і евтектики ($\gamma + \gamma'$) використовувався реактив CuSO_4 - 20 г, H_2SO_4 - 5 мл, решта - H_2O , щільність струму - 500 А / м^2 .

Тонкі металографічні дослідження структури зразків було здійснено методом електронної мікроскопії на растровому електронному мікроскопі РЕМ-106І при різних збільшеннях.

Для ідентифікації фаз, визначення їх об'ємної частки і хімічного складу використовувався метод локального мікрозондового аналізу. Дослідження складу фаз здійснювалося на приставці до растрового електронного мікроскопу марки РЕМ 106І з системою енергодисперсійного мікрорентгеноспектрального аналізу. Даним методом експериментально оцінювався хімічний склад фаз в структурі в порівнянні з результатами, отриманими розрахунково-аналітичними методами. Переклад значень якісного аналізу в кількісний проводився автоматично за програмою приладу. Відносна похибка методу становила $\pm 1\%$ за масою.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

З огляду на те, що жароміцність сплавів в значній мірі визначається термодинамічною стабільністю фаз, яку пропонують [21] оцінювати по температурах $t_{п.р}$, $t_{евт}$, t_s , і t_L розробка методики розрахунку цих значень від хімічного складу сплаву є актуальним завданням.

Всі компоненти, що використовуються при легуванні ЖНС, можна умовно розділити на три групи: розчиняються головним чином в γ -твердому розчині (Co, Cr, Mo, W, Re), розчиняються переважно в γ' -фазі (Al, Ti, Ta, Hf) і карбідоутворюючі елементи (Ti, Ta, Hf, Nb, V, W, Mo, Cr).

З іншого боку, до складу γ' - фази можуть входити багато елементів: Al, Ti, Nb, Cr, Co, Mo, W, V і ін. Але їх вміст в γ' - фазі і вплив на її кількість в структурі різному. Це вплив пов'язано зі здатністю елементів утворювати з нікелем стабільні інтерметаллідні фази типу Ni_3Me . Звідси, на критичні температури сплавів впливають не тільки елементи, які відносяться до γ' - утворюючим, а й ті, які класифікуються як γ - твердорозчинні зміцнювачі.

В результаті обробки експериментальних даних і наведених вище міркувань, вперше запропоновано співвідношення:

$$K_{\gamma'} = 5 \cdot \frac{\sum_{\gamma'}(Al+Ti+Nb+Ta+Hf)}{\sum_{\gamma'}(Cr+W+Mo+Re+Co+Ru)}$$

елементів для оцінки термодинамічної стабільності фаз, яке враховує комплексний вплив всіх компонентів сплаву. Дане співвідношення добре корелює з температурами $t_{п.р}$, $t_{евт}$ і t_s , які, в свою чергу, добре корелюють з жароміцністю сплавів [45].

Зв'язок температур повного розчинення γ' -фази, евтектичного перетворення і солідусу із запропонованим співвідношенням (рис. 3.1) адекватно описують

регресивні моделі (табл. 3.1). Підвищення теплофізичних характеристик сплавів зі збільшенням параметра $K_{\gamma'}$ зв'язується зі збільшенням легування сплавів як γ' -утворюючими елементами, так і елементами знаходяться в γ -твердому розчині.

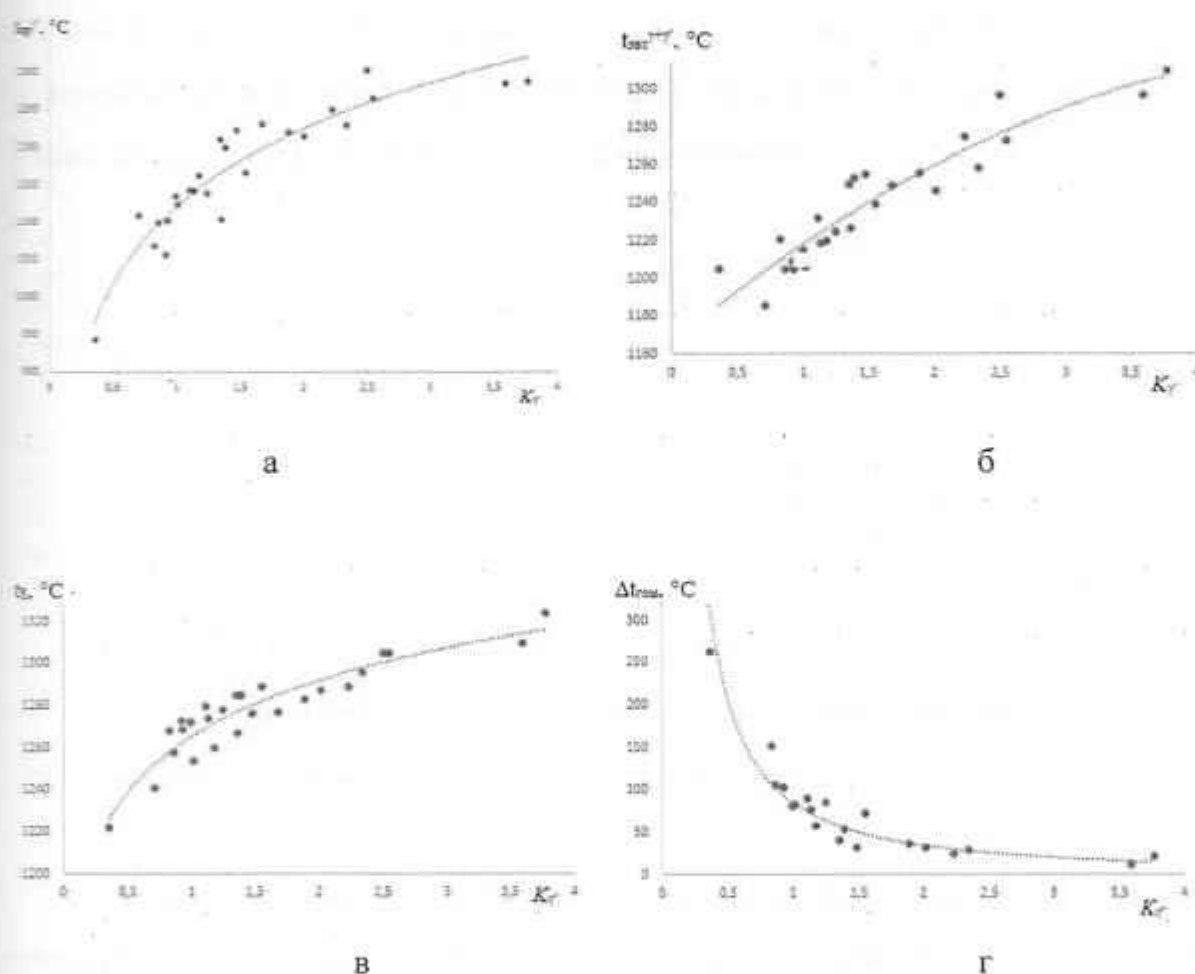
Таблиця 3.1 – Математичні залежності теплофізичних характеристик ЖНС від параметрів $K_{\gamma'}$ и K_{γ} .

Критичні температури	Прогнозуючі регресійні моделі
Температура повного розчинення γ' -фази	$t_{\text{пр}}^{\gamma'} = 150,56 \ln(K_{\gamma'}) + 1120,3$
Температура евтектичного перетворення $\gamma + \gamma'$	$t_{\text{эвт}}^{\gamma + \gamma'} = -5,3757(K_{\gamma'})^2 + 57,694(K_{\gamma'}) + 1165,8$
Температурний інтервал гомогенізуючого відпалу	$\Delta t_{\text{гом}} = 84,603(K_{\gamma'})^{-1,295}$
Температура солідус	$t_s = 38,458 \ln(K_{\gamma'}) + 1265,4$
Температура ліквідус	$t_L = 3,6863(K_{\gamma})^2 - 38,472(K_{\gamma}) + 1443,6$
Температурний інтервал кристалізації	$\Delta t_{\text{кр}} = 5,3508(K_{\gamma})^2 - 44,467(K_{\gamma}) + 159,7$

За допомогою побудованих регресійних моделей можна з високою точністю прогнозувати критичні температури сплавів без попередніх експериментів методом диференціального термічного аналізу, а також розраховувати ширину температурного інтервалу для ефективного гомогенізуючого відпалу в залежності від вмісту легуючих елементів в сплаві.

Однак зв'язок співвідношення $K_{\gamma'}$ з температурою ліквідусу виявилася неоднозначною. Початкова залежність мала низький коефіцієнт детермінації ($R^2 \geq 0,1$). Це пояснюється тим, що при температурах близьких до температури плавлення, в структурі присутній дві фази, рідина і γ -твердий розчин. Температура ліквідус пов'язана з термодинамічної стабільністю твердого розчину, на яку впливають тугоплавкі елементи, що в ньому знаходяться, вони розчиняються

переважно в γ -твердому розчині і істотно підвищують термодинамічну стабільність фаз в ЖНС через низький коефіцієнта дифузії, що призводить до гальмування рухливості атомів в γ -фазі. Тому, обробивши експериментальні дані, і слідуючи вище викладеним судженням, вперше запропоновано наступне співвідношення елементів:

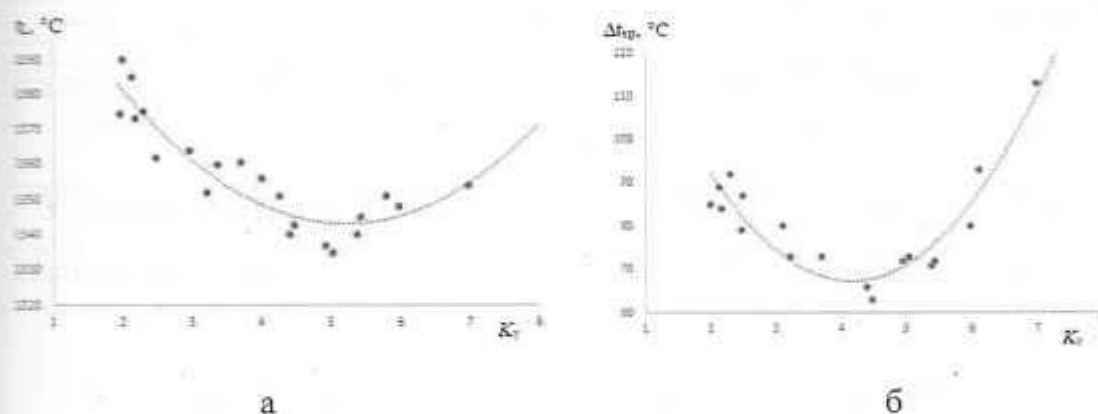


а - $t_{\text{пр}}^\gamma = f(K_\gamma)$; б - $t_{\text{звт}}^{\gamma\gamma} = f(K_\gamma)$; в - $\Delta t_{\text{гом}} = f(K_\gamma)$; г - $t_s = f(K_\gamma)$

Рисунок 3.1 - Залежність критичних температур і інтервалу гомогенізації від співвідношення легуючих елементів в складі ЖНС:

$$K_\gamma = \frac{\sum_\gamma (\text{Cr} + \text{W} + \text{Mo} + \text{Re} + \text{Co} + \text{Ru})}{\sum_\gamma (\text{Al} + \text{Ti} + \text{Nb} + \text{Ta} + \text{Hf})},$$

це дає можливість досить точно прогнозувати температуру ліквідусу і температурний інтервал кристалізації ЖНС. На рисунку 3.2 приведені залежності температури ліквідусу і інтервалу кристалізації від співвідношення K_γ , на яких простежується екстремум в інтервалі значень 4,5...5 K_γ , що відповідає взаємозв'язку γ -утворюючих елементів до γ' -утворюючих елементів як 5:1. З підвищенням значення K_γ спостерігається деяке збільшення температури ліквідусу, але максимальні значення при цьому не спостерігаються. Протилежна поведінка спостерігається в інтервалі гомогенізації ЖНС (рис.2, б), при значеннях $K_\gamma > 5$, $\Delta t_{кр}$ значно збільшується і досягає максимальних значень.



а - і інтервалу кристалізації; б - від співвідношення K_γ .

Рисунок 3.2 - Залежність температури ліквідусу.

Таким чином, використовуючи наведені регресійні моделі (табл. 3.1) можна розрахувати температуру ліквідусу і ширину температурного інтервалу кристалізації, що істотно впливає на технологічність сплаву при формуванні бездефектної структури в виливках.

Результати розрахунку теплофізичних характеристик ЖНС рівновісної кристалізації, в подальшому порівнювали з експериментальними даними, отриманими за допомогою диференціального термічного аналізу (ДТА) [46]. Для підтвердження розрахункових даних були обрані промисловий жароміцні нікелеві сплави, розроблені в Національному університеті «Запорізька політехніка» ЗМП-

ЗУ [47] і ЖСЗЛС-М [48] середнього рівня легування. На підставі аналізу експериментально отриманих даних критичних температур фазових перетворень досвідчених сплавів в таблиці 3.2 представлено значення розрахункових теплофізичних характеристик, отримані з використанням активного експерименту.

Таблиця 3.2 – Розрахункові та експериментальні теплофізичні характеристики ливарних ЖНС

Метод отримання результатів	Критичні температури, °C					
	$t_{\text{пр}}^{\gamma}$	$t_{\text{звт}}^{\gamma+\gamma'}$	t_s	t_L	$\Delta t_{\text{гом}}$	$\Delta t_{\text{кр}}$
ЖСЗЛС-М						
Розрахунковий	1071,63	1200,75	1281,6	1349,4	129,94	67,8
Експериментальний	1070	1202	1280	1348	132	68
ЗМІ-3У						
Розрахунковий	1160,6	1233,5	1260,7	1354,3	72,9	93,6
Експериментальний	1165	1235	1255	1350	68	79

У таблиці 3.2 показано, що розрахункові та експериментальні дані добре узгоджуються між собою практично за всіма параметрами. Виходячи з отриманих розрахункових і експериментальних значень похибка не перевищує 5°C, таким чином, отримані математичні залежності дають можливість прогнозувати теплофізичні характеристики, які залежать від системи легування сплаву, як при розробці нових складів ЖНС для рівноважної кристалізації, так і при удосконаленні відомих промислових композицій в рамках марочного складу.

Типові структури жароміцних ливарних сплавів на нікелевій основі отриманими за допомогою електронної мікроскопії в режимі мікрозондіровання на растровому електронному мікроскопі РЕМ-106І. Структура складається з γ -твердого розчину, γ' фази, та первинних і вторинних карбідів (рис.3.3).

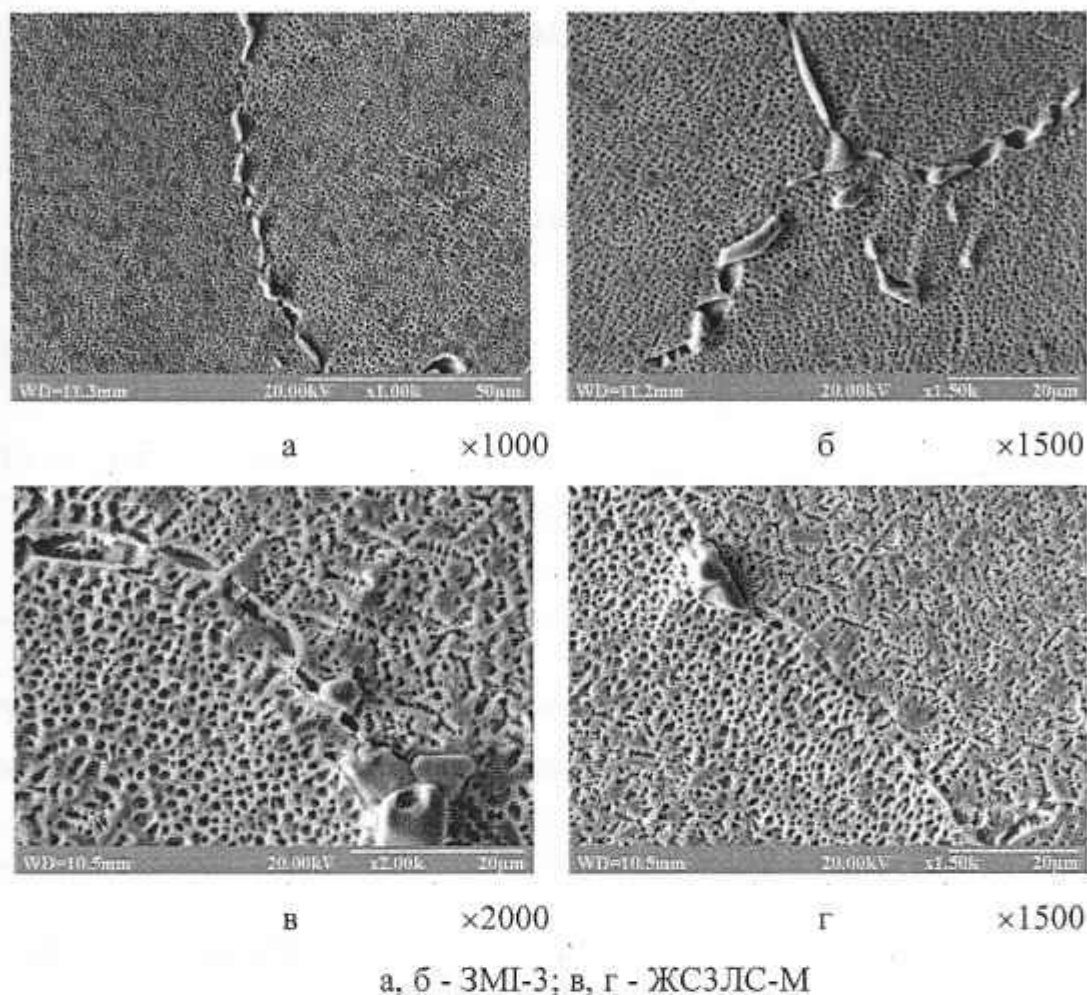


Рисунок 3.3 – Типова структура жароміцних сплавів на основі нікелю:

Морфологія вторинних карбідів, яка найбільш часто зустрічається в структурі сплавів даного класу: переривчаста пластинчата і переривчаста блокова. Найбільш доцільним є блоковий тип виділень вторинних карбідів, оскільки в цьому випадку маємо нижчий рівень концентрації напружень з матрицею.

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

В економічній частині розглянуто метод розрахунків критичних точок перетворення в жароміцних сплавах без використання експериментальних досліджень.

Таблиця 4.1 - Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
Використання розрахункових даних для проектування хімічного складу для матеріалів	Проектування нових матеріалів	Економія часу та ресурсів при проведенні експериментальних досліджень

Проаналізуємо характеристику потенційного ринку

Таблиця 4.2 - Попередня характеристика потенційного ринку

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Головні конкуренти	Науково дослідницькі лабораторії
2	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
3	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	-
4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	-

Потенціальні групи клієнтів та їх характеристика.

Таблиця 4.4 - SWOT- аналіз

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
Швидкість реалізації	Відхилення розрахованих критичних температур від експериментальних до 5°C
Мінімальне використання ресурсів	Зниження лінії солідус до 5°C
Простота в використанні	

4.1 Планування науково-дослідних робіт

Щоб розрахувати економічну ефективність треба вибрати конкретну методику розрахунку економічної ефективності серед багатьох існуючих і яка більшою мірою відповідає науково-дослідній роботі. Для цього слід розробити такі напрямки:

- розробити етапи проведення науково-дослідних робіт. (НДР);
- призначити трудомісткість етапів, кількість виконавців, тривалість проведення етапів;
- розробити план-графік проведення роботи, який визначає послідовність виконання робіт та терміни;
- розрахунок витрат на проведення НДР.

Весь комплекс науково-дослідних робіт можна підрозділити на типові етапи-таблиця 4.1. При кожному етапі вказуються виконавці і тривалість виконання робіт.

Весь комплекс дослідження можна розділити на етапи. Для кожного етапу вказуються трудомісткість, кількість виконавців і тривалість робіт.

Для дослідження необхідні інженер-дослідник та консультант, так як, при даній роботі, виникає необхідність в фаховому консультанті через специфіку і вимоги.

Таблиця 4.5 – Етапи роботи

Номер етапу	Найменування етапу	Тривалість, днів	Зміст роботи
I	Підготовчий	4	Отримання проектного завдання. Підбір і аналіз літератури і аналогів. Розробка, уточнення завдання та затвердження технічного завдання. Створення часової діаграми проекту
II	Виконання теоретичних розробок по темі	5	Складання методики. Розробка питань теми, напрямку робіт і перелік питань для досліджень.
III	Проведення розрахункових досліджень на ЕОМ	20	Виконання розрахунків. Внесення виправлень у розроблені схеми.
IV	Узагальнення отриманих результатів	6	Узагальнення отриманих результатів, досліджень, визначення шляхів подальшого їхнього використання, місця і напрямки використання отриманих результатів.
V	Заключний	2	Складання звіту, обговорення його затвердження, оформлення графічного матеріалу. Техніко-економічні розрахунки ефективності результатів досліджень.

Розрахунок тривалості кожного етапу проводиться по формулі (4.1)

$$T_{цi} = \frac{Q_i}{R_i} \quad (4.1)$$

де $T_{цi}$ – тривалість циклу, дні;

Q_i – трудомісткість робіт, люд.-дн.;

R_i – кількість виконавців, люд.;

Результати розрахунків зводять у табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Тривалість етапів НДР

Етап НДР	Трудомісткість		Виконавці		Тривалість, днів
	Людино-днів	% до підсумку	Спеціальність	Кількість, чол.	
I	4	7,32	Інженер-дослідник, консультант	2	2
II	5	24,39	Інженер-Дослідник	1	5
III	20	48,78	Інженер-дослідник	1	20
IV	6	12,19	Інженер-дослідник, консультант	2	3
V	2	7,32	Інженер-дослідник	1	2
Разом	37	100		2	32

За даними таблиці 4.6 складається зведений стрічковий графік планування дослідження.

4.2 Розрахунок витрат на проведення НДР

Для визначення витрат на розробку програми складеється калькуляція кошторисної вартості робіт, яка включає наступні статті:

- основна заробітна плата;
- додаткова заробітна плата;
- єдиний соціальний внесок;
- витрати на спеціальне обладнання;
- матеріали і комплектуючі вироби;
- накладні витрати;
- податки.

4.2.1 Розрахунок основної заробітної плати

Витрати за цією статтею складаються з планового фонду зарплати всіх категорій працівників, зайнятих в розробці програми. Розрахунок зарплати ведеться на підставі даних про трудомісткості, представлених в таблиці 4.3

Таблиця 4.7 – Розрахунок основної заробітної плати

Посада виконавця	Чисельність, чол.	Місячний оклад	Кількість місяців роботи	Сума заробітної плати, грн.
Інженер- дослідник	1	9000	1,5	13500
Консультант	1	8020	0,25	2005
Разом	2			15505

4.2.2 Розрахунок додаткової заробітної плати

Додаткову заробітну плату приймають рівною 10% від основної заробітної платні робітників й розраховують за формулою:

$$ЗП_{\text{дод}} = \Sigma ЗП_{\text{осн}} \cdot 10\% \quad (4.2)$$

Підставивши величину основної заробітної плати в дану формулу, отримуємо:

$$ЗП_{\text{дод}} = 15505 \times 0,1 = 1550,5 \text{ грн}$$

4.2.3 Відрахування на єдиний соціальний внесок

Ці відрахування складають 22% і беруться від основної та додаткової зарплатні

$$СВ = (\Sigma ЗП_{\text{осн}} + ЗП_{\text{дод}}) \cdot 22\% \quad (4.3)$$

$$СВ = (15505 + 1550,5) \times 0,22 = 3752,21 \text{ грн}$$

4.2.4 Визначення витрат на матеріали

У цю статтю включають вартість основних і допоміжних матеріалів, напівфабрикатів, що купуються, і комплектуючих виробів, необхідних для

розробки програми (папір, диски, картридж тощо) При виконанні дослідження використовується 3 найменування матеріалів: диск CD-R - 9 грн.; фарба на принтер - 95 грн. і папір 85,90 грн. (1 упаковка).

Розрахуємо вартість основних матеріалів M_0 за формулою:

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

де $K_{ТЗ}$ – коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні витрати ($K_{ТЗ}=0,05$);

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

N_i – необхідна потреба в матеріалі i -го найменування;

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

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

n – кількість найменувань матеріалів.

$$M = (9 + 95 + 85,90) \cdot (1 + 0,05) = 199,35 \text{ грн}$$

Отже, витрати складають 199.35 грн.

4.2.5 Витрати на спеціальне обладнання

У цю статтю входять витрати на придбання, транспортування, монтаж і налагодження нестандартного обладнання.

Практично, в даному випадку, в цій статті враховуються витрати на оплату машинного часу ЕОМ при проведенні досліджень. Для чого необхідно скласти кошторис «витрат на утримання і експлуатацію устаткування» виходячи з якої визначиться вартість одного машино-години роботи ПК, після множення якої на машинний час пішло на дослідження отримаємо витрати на оплату машинного

часу.

До спеціального обладнання належить таке обладнання, яке використовується тільки для проведення окремої дослідної роботи. Вартість спеціального устаткування для проведення НДР визначають на підставі їхньої кількості, цін по прейскурантах. Результати розрахунку занесено до табл. 4.4.

Таблиця 4.8 – Розрахунок вартості спецобладнання

Устаткування	Марка, ДСТ	Кількість на тему	Ціна за одиницю, грн.	Вартість, грн.
1. Комп'ютер	AMD Athlon 200GE 3.9GHz/4MB	1	8512,00	8512,00
Разом				8512,00

Розрахуємо суму амортизаційних відрахувань. Балансова вартість комп'ютера і принтера складається з вартості комп'ютера і принтера, і оплати транспортування цього устаткування в офіс.

Оскільки основна робота проводиться інженером-дослідником на комп'ютері, тоді розрахуємо амортизаційні відрахування для обладнання. Ціна обладнання – 8512,00 грн. Норма амортизаційних відрахувань на комп'ютер складає $H_d = 25\%$. Ефективний фонд роботи комп'ютера склав 20 робочих днів (використовувався на 3 та 4 етапах при моделюванні багаторівневих сигналів і узагальнення отриманих результатів), принтера – 2 дні (при виводі чорнового варіанту роботи, а потім з виправленнями на чистовик)

Амортизаційні відрахування визначають за формулою:

$$A = B_{\delta} \cdot \frac{H_d}{100} = B_{\delta} \cdot 25\% \quad (4.6)$$

де B_{δ} – балансова вартість обчислювальної техніки, грн.;

H_a – норма амортизаційних відрахувань на повне відновлення ОЕМ, %
 годі

$$\Lambda = 8512 \cdot 25\% = 8512 \cdot 0,25 = 2128 \text{ грн}$$

Статтю «Експлуатація обладнання» розраховують підсумовуванням витрат на електроенергію і допоміжні матеріали.

$$C_e = N_H \cdot \Phi_{\text{еф}} \cdot K_{\text{зч}} \cdot K_{\text{зп}} \cdot C_e \quad (4.7)$$

де N_H – номінальна потужність ЕОМ, кВт;

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

$K_{\text{зч}}$ – середній коефіцієнт завантаження за часом;

$K_{\text{зп}}$ – коефіцієнт завантаження по потужності;

C_e – ціна одного кВт · год електроенергії, грн / (кВт · год).

Номінальна потужність ЕОМ – 0,4 кВт. Річний ефективний фонд часу роботи ЕОМ становить 1800 годин. Середні коефіцієнти завантаження за часом і за потужністю рівні відповідно 0,9 і 0,5. Ціна однієї кіловат-години електроенергії становить 2,11 грн.

Отримуємо

$$C_e = 0,4 \cdot 1800 \cdot 0,9 \cdot 0,5 \cdot 2,11 = 683,64$$

Зарплата обслуговуючого персоналу розраховується за формулою 4.8:

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

де $\Phi ЗП_r$ – річний фонд заробітної плати (основної і додаткової) обслуговуючих робітників, грн.

$K_{\text{нап}}$ – коефіцієнт, що враховує відрахування на єдиний соціальний внесок;

$t_{\text{мес}}$ – час протягом року, необхідне на технічне обслуговування ЕОМ, год/рік;

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

Місячна заробітна плата обслуговуючого персоналу становить 3723 грн., а річний фонд заробітної плати відповідно дорівнює 44676 грн. Річний ефективний фонд робочого часу обслуговуючого ПК працівника дорівнює 1750 год / рік. На обслуговування одного ПК витрачається по 1 годині на місяць, що в рік становить 12 годин.

$$ЗП_{\text{обсл}} = 44676(1 + 0,22) \frac{12}{1750} = 373,74 \text{ грн}$$

Стаття «Поточний ремонт обладнання» приймається рівною 3% від балансової вартості обладнання і становить 146.85

Стаття «Інші витрати» приймається рівною п'яти відсоткам від суми всіх попередніх статей витрат на утримання і експлуатацію обладнання. Сума всіх попередніх статей дорівнює 2437.98 грн. 5% від суми складають 121.90 грн.

Розраховані статті витрат на утримання і експлуатацію обладнання внесені в таблицю 4.9

Таблиця 4.9 Кошторис витрат на утримання і експлуатацію обладнання

Найменування статті витрат	Сума, грн
Амортизація обладнання	2128
Експлуатація обладнання (крім витрат на поточний ремонт)	683,64
Заробітна плата основна і додаткова обслуговуючих робітників з відрахуваннями на соціальні заходи	373,74
Поточний ремонт обладнання	146,85
Інші витрати	121,90
Разом	2559,88

Витрати на оплату машинного часу ЕОМ для написання і налагодження програмних засобів визначаються за формулою

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

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

$B_{\text{екс}}$ – експлуатаційні витрати на одну годину машинного часу цієї цифрової ЕОМ, грн. / машино-год.;

$t_{\text{м}}$ – машинний час цифрової ЕОМ для написання і налагодження даного програмного продукту, машино-год.

Експлуатаційні витрати на одну годину машинного часу використовуваної ЕОМ розраховують діленням суми витрат таблиці 4.5 на річний ефективний фонд часу роботи ЕОМ. Річний ефективний фонд часу роботи ЕОМ дорівнює 1800 годин. В результаті експлуатаційні витрати на одну годину машинного часу дорівнюють:

$$B_{\text{екс}} = \frac{2559,88}{1800} = 1,42 \text{ грн./машино-год}$$

ЕОМ експлуатується 32 дні в одну зміну, що становить в сумі 256 годин. Таким чином, витрати на оплату машинного часу складуть:

$$C_{\text{мо}} = 1,42 \times 256 = 363,62 \text{ грн}$$

4.2.7 Розрахунок накладних витрат

До накладних витрат відносяться витрати на загальне управління і загальногосподарські потреби (заробітна плата апарату управління, канцелярські витрати і т.д.), утримання та експлуатацію будівель. Накладні витрати включаються до вартості розробки програми непрямым шляхом – у відсотках до основної заробітної плати розробників. В даному випадку накладні витрати становлять 30% до основної заробітної плати розробників, що складає 4651,50 грн

Складемо кошторис усіх витрат, результати розрахунку занесемо в таблицю 4.10.

Таблиця 4.10 – Кошторис витрат на виконання НДР

Вид витрат	Сума витрат, грн.	Процент витрат, %
Основна заробітна плата	15505,00	59,58
Додаткова заробітна плата	1550,50	5,96
Єдиний соціальний внесок	3752,21	14,42
Основні матеріали	199,35	0,76
Витрати на спецобладнання	363,62	1,39
Накладні витрати	4651,50	17,87
Разом	26022,18	100
ПДВ (20%)	5204,44	
Разом (з ПДВ)	31226,62	

4.3 Розрахунок економічної ефективності НДР

Ефективність прикладних НДР визначається, як зіставлення річного економічного ефекту від застосування результатів розрахункових досліджень в умовах виробництва та використаних капіталовкладень для здійснення досліджень та втілення їх у виробництво.

$$E_{\text{фак}} = \frac{\text{Економічний ефект}}{\text{Капіталовкладення}} \quad (4.10)$$

Підставляючи фактичну економічну ефективність з нормативною ($E_n = 0,10 \dots 0,15$), робиться висновок про доцільність досліджень. Якщо $E_{\text{фак}} >$ або $= E_n$ то дослідження визнаються економічно ефективними. У зворотному випадку дослідження не слід виконувати, тому що економічний зиск від таких досліджень малий. Економічну ефективність досліджень можливо оцінити по строку окупності витрат на їхнє проведення та втілення.

$$T_{\text{ок}}^{\text{фак}} = \frac{\text{Капіталовкладення}}{\text{Економічний ефект}} \quad (4.11)$$

Фактичний строк окупності капіталовкладень зіставляється з нормативним строком окупності капіталовкладень, прийнятий для промисловості (приблизно 6 років), і на основі порівняння робиться висновок про доцільність досліджень.

Для теоретичних досліджень у більшості випадків важко чи навіть неможливо розрахувати економічний ефект, тому доцільно визначити їхню техніко-економічну ефективність з урахуванням наступних показників:

- важливість дослідження;
- складності розробки;

- результативності й можливості використання.

Важливість теоретичного дослідження оцінюють по його призначенню:

- рішення проблемних питань;
- задоволення вимог спеціальної техніки; пошук принципово нових конструктивних і технологічних рішень тощо.

Складність виконання роботи визначають порівнянням отриманих результатів даного дослідження з результатами відомих аналогічних досліджень з обліком грошових і трудових витрат на їхнє проведення.

Результативність НДР можна визначити по повноті рішень поставленого завдання: отриманий результат відповідає плановому, задовільний (часткове рішення) чи негативний.

Аналіз залежності між цими показниками й витратами на їхнє досягнення дає можливість кількісної оцінки техніко-економічної ефективності теоретичних НДР по формулі:

$$K_{\text{НДР}} = \frac{J^n \cdot R \cdot T}{B_{\text{НДР}} \cdot t_{\text{НДР}}}, \quad (4.11)$$

де $K_{\text{НДР}}$ – рівень ефективності дослідження (коефіцієнт техніко-економічної ефективності НДР);

$J = 2$ – важливість роботи;

$R = 1.5$ – результативність роботи;

$T = 1$ – технічна складність виконання НДР;

$B_{\text{НДР}} = 31,226$ тис.грн – витрати на проведення НДР;

$t_{\text{НДР}} = 32$ дні – час проведення НДР;

$n = 2$ – показник використання результатів НДР

При значенні $K_{\text{НДР}} > 1$ дослідницька робота вважається ефективною.

Отже, розрахуємо $K_{\text{НДР}}$:

$$K_{\text{ндп}} = (2^3 \times 2 \times 1) : (31,226 \times 0,128) = 1,5$$

Після розрахунку (4.11) отримаємо рівень ефективності дослідження $K_{\text{ндп}} = 1,5$. Це більше 1, тому робимо висновок, що дана дослідницька робота є ефективною.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи із охорони праці, при дослідженні характеристик жароміцних ливарних сплавів.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

а) небезпеки які пов'язані, з порушенням вимог ергономіки стосовно, організації робочих місць дослідів в приміщенні дослідницької лабораторії; б) можливість ураження електричним струмом, внаслідок порушення правил з електричної безпеки, що може привести до електричних травм, або летального наслідку;

в) небезпеки які пов'язані із проведенням випробувань механічних властивостей дослідницьких зразків, зокрема можливості отримання механічних травм;

г) небезпеки які пов'язані із дослідженням мікроструктури на електронному мікроскопі «Tesla BS 540», зокрема негативний вплив іонізуючих випромінювань, що може привести до розвитку тяжких захворювань.

д) небезпеки які пов'язані із дослідженням структури на оптично му мікроскопі МИМ-8, зокрема пошкодження органів зору внаслідок хибного вибору світлофільтрів;

е) небезпеки які пов'язані із обробкою результатів досліджень із використанням ПК, зокрема ушкодження кістково-м'язового апарату внаслідок довготривалої роботи в однотипній позі;

с) незадовільні параметри повітряного середовища в приміщенні дослідницької лабораторії, внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітря обміну;

ж) незадовільне освітлення робочих зон, дослідницької лабораторії;

з) можливість загоряння внаслідок порушень правил пожежної безпеки, що може привести до пожежі;

к) небезпеси які пов'язані із умовами праці у надзвичайних ситуаціях;

Заходи щодо забезпечення безпеки:

а) Згідно ГОСТ 12.2.032-78, «СС. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» конструкція робочого місця повинна забезпечувати оптимальне положення співробітника, що досягається за рахунок регулювання висоти сидіння та підставки для ніг. Підставка для ніг повинна регулюватися по висоті. Ширина повинна бути не менше 300 мм, довжина – не менш 400 мм. Поверхня підставки повинна бути рифленою. По передньому краю слід передбачити борти висотою 10 мм. Важливим фактором є простір під столом, його має бути досить, що можна було зручно згинати та розгинати коліна. Стіл повинен мати криволінійну форму. Крісло повинно забезпечити фізіологічно раціональну робочу позу, при якій порушується циркуляція крові і не було іншого шкідливого впливу. Для цього необхідно, щоб у крісла була пружна спинка анатомічної форми, яка зменшить навантаження на хребет. Також крісло обов'язково повинно бути з підколінниками і мати можливість повороту, зміни висоти і кута нахилу сидіння й спинки. Монітор повинен розташовуватися на робочому столі прямо, і віддаленням від очей мінімум на 50-60 см. Верхня границя екрану повинна бути на рівні очей або не нижче 15 см від рівня очей. Клавіатура повинна розташовуватися в 10-15 см (в залежності від довжини ліктя) від краю стола. Глибина стола повинна дозволяти повністю положити лікті на стіл, відсунути клавіатуру до монітора.

б) З метою забезпечення електробезпеки, необхідним є знання основних заходів, для попередження уражень електричним струмом.

Організаційні заходи – до виконання робіт допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли навчання, та перевірку знань з електробезпеки. Основним нормативним актом є ПУЄ (правовий устрій з електроустанов). Ремонт обладнання повинен здійснювати тільки спеціальний підготовлений персонал. Для кожного електроспоживного обладнання повинні бути складені експлуатаційні схеми нормальної і аварійної роботи.

Технічні заходи – розташування струмоведучих частин на недоступній висоті (до 1000 В), не менше 3,5 м (більше 1000 В – 6 м). Всі не ізолювані струмопровідні лінії повинні бути надійно огорожені суцільними огорожами. Відкриття яких можливий тільки за допомогою спеціальних пристроїв. Опір ізоляції електричних дротів повинен бути не менше 0,5 Ом. Обов'язковим є захисне заземлення або запунення. Обов'язковим є використання індивідуальних засобів захисту, зокрема гумовий діелектричний килимок, опір якого слід періодично перевіряти. Обов'язковим є встановлення автоматичних блокуючих пристроїв, які запобігають небезпечним діям людини. Блокуючі пристрої розподіляють на механічні, електричні, та електромеханічні.

в) При випробуванні на механічні властивості дослідницьких зразків негативно на стан працездатності людини впливають різні шуми. Шум – сукупність звуків різної частоти та інтенсивності. Негативно впливає на організм людини, викликає психологічні та фізіологічні порушення, знижує працездатність та сприйнятливість зовнішньої інформації. Шум підвищує ступінь ризику травматизму та нещасних випадків пов'язаних з порушенням сприйняття людиною попереджувальних сигналів, змін в роботі обладнання та технологічного процесу. Шум нормується ГОСТом 12.1.003-83 «Шум. Загальні вимоги безпеки», ДСТУ 2325-93 «Шум. Терміни та визначення» та ДСН 3.3.6-037-99 «Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». Основою нормування є обмеження звукової енергії, яка діє на людину протягом робочої зміни значеннями, безпечними для її здоров'я і працездатності.

Методи захисту від шуму:

Зниження шуму в джерелі виникнення:

підвищення якості балансування обертових деталей, класу точності їх виготовлення;

недопущення перекосів деталей і вузлів, люфтів і зазорів;

Зниження шуму на шляху його поширення.

Досягається будівельно-акустичними заходами, за рахунок застосування звукоізолюючих облицювань.

Акустична обробка приміщень (ефективна в зоні відбитого звуку). Передбачає вкривання стелі та верхньої частини стін звукопоглинальними матеріалами. Ефективність методу незначна (зниження шуму на 4-7 дБ) і проводиться в поєднанні з іншими методами.

Звукоізоляція.

Застосовується для захисту від шуму, що проникає зовні. Досягається створенням герметичних перепон, стін, кожухів, екранів. Застосовують матеріали, що мають високий коефіцієнт відбиття, наприклад: метал, скло, залізобетон, бетон та інші. В залежності від герметичності, товщини та властивостей матеріалів звукоізоляція дає можливість зменшити шум на 30- 50 дБ.

Звукопоглинання.

Застосовують пористі матеріали з великим коефіцієнтом поглинання, наприклад: паропласт, войлок, базальтове волокно та інші.

Для попередження механічних травм, зони випробувань повинні огорожувати спеціальними прозорими екранами з триплексу.

г) Для електронного мікроскопа «Tesla BS 540» можливі 3 варіанти аварійної ситуації:

відключення електроживлення;

відключення води;

прорив повітря в вакуумну систему.

У таких ситуаціях першочерговим завданням вважається охолодження печі дифузійного насоса і, по можливості, збереження вакууму в системі. У всіх

випадках слід спочатку відключити високу напругу, піч диф. насоса і вимкнути головний автомат на стінці. При відмові водопостачання поста ратися обмотати мокрим ганчірками піч диф. насоса і включити вентилятор для обдування. Гарячі мокрі ганчірки слід міняти, поки вакуум в системі не почне падати. Після охолодження приступити до усунення несправності. При прориві повітря в колону мікроскопа, як правило, спрацьовує автоматика, відсікаючи дифузійний насос від решти обсягу, і вимикається напруження катода і висока напруга. Треба тільки простежити, щоб форвакуумний насос не працював «на повітря», а переключити його на закритий обсяг, наприклад на відкачку боксу з фотопластинками.

В цьому випадку найнебезпечнішим для мікроскопа випадком може з'явитися тріщина в керамічному ізоляторі високовольного введення. Тому найкраще буде якомога швидше усунути протікання.

Електронний мікроскоп «Tesla BS 540», має потужне джерело іонізуючих випромінювань, що як наслідок негативно впливає на організм людини при зовнішньому опромінюванні. Зовнішнє опромінення — це дія на організм іонізуючих випромінювань від зовнішніх відносно нього джерел випромінювання. Під дією іонізуючих випромінювань в організмі людини відбувається іонізація молекул і атомів тканини, порушується хімічна структура сполук, утворюються сполуки, не властиві живій клітині, що в свою чергу призводить до її відмирання. Зміни фізичних і біологічних процесів в організмі залежно від дози опромінювання.

Для попередження шкідливої дії іонізуючих випромінювань необхідно усувати всяку можливість опромінювання організму дозами, які перевищують гранично допустимі. Ступінь ураження радіоактивними речовинами організму людини залежить від ряду чинників: виду випромінювання (альфа-, бета-, гамма-промені і т. ін.); кількості ізотопу (активності); його властивостей (енергії частинок в період підрозпаду та ін.); шляхів попадання в організм людини та його індивідуальної чутливості.

Для захисту від зовнішнього опромінювання, яке має місце при роботі із закритими джерелами випромінювання, основні зусилля необхідно направити на попередження переопромінення персоналу шляхом:

збільшення відстані між джерелом випромінювання і людиною (захист відстанню);

скорочення тривалості роботи в зоні випромінювання (захист часом);

екранування джерела випромінювання (захист екранами).

д) Горизонтальний металографічний мікроскоп МИМ-8 призначений для дослідження мікроструктури металів і інших непрозорих об'єктів в світлому полі при прямому і косому освітленні, а також в темному полі і в поляризованому світлі. Для візуального спостереження об'єктів мікроскоп забезпечений монокулярної і біноккулярної насадками. Власне збільшення біноклярної насадки - 2,5 х.

Набір ахроматичних і апохроматичних об'єктивів і окулярів забезпечує збільшення мікроскопа при візуальному спостереженні - від 100х до 1350х. Предметний столик мікроскопа забезпечений механізмами для координатного переміщення об'єкта. Освітлення здійснюється від електролампи розжарювання потужністю 170 Вт, 17 В, живиться від освітлювальної мережі 220В через понижуючий трансформатор, забезпечений секційним перемикачем для регулювання яскравості напруження лампи. Сам мікроскоп і все його частини встановлені на станині, що представляє собою оптичну лаву довжиною 1,8 м. Станина встановлюється на чотири демпфера, призначених для запобігання мікроскопа від вібрації. демпфери вмонтовані в стіл, який має з боків дві тумби з висувними ящиками для зберігання приладдя.

Правильне використання мікроскопа виходить тільки за умови раціональної комбінації об'єктивів, окулярів. При вживанні їх треба пам'ятати, що збільшення повинно знаходитися в межах від 500 до 1000 апертур. Об'єктиви апохромати в поєднанні з компенсаційними окулярами для візуального спостереження дають збільшення.

Крім правильної комбінації об'єktivів і окулярів, не менш важливе значення має і правильне застосування світлофільтрів. Як правило, при роботі з об'єktivами-ахроматами слід застосовувати світлофільтри, а з апохроматами можна працювати і без них.

Об'єktivы-ахроматы мають корекцію тільки для середніх кольорів видимої частини спектра; з цієї причини при білому світлі вони дають зображення з нечіткими контурами, пофарбованими головним чином по краю поля зору. Щоб погасити всі кольори, в яких об'єкт не має корекції, застосовують жовто-зелений світлофільтр. З огляду на те, що об'єktivы-апохроматы мають корекцію майже для всіх кольорів видимої частини спектра, жовто-зелені світлофільтри для них зайві.

е) Персонал, що працює на комп'ютері зобов'язаний дотримуватися вимог інструкції, розробленої на підставі Санітарних норм і правил СанПин 2.2.2.542-96 «Гігієнічні вимоги для відео дисплейних терміналах, персональними електророзрахунковими машинами і організації робіт», а також нести особисту відповідальність за дотримання вимог безпеки своєї парції і за створення небезпечного чи шкідливого виробничого фактора для інших працюючих і поломку комп'ютера.

При роботі з комп'ютером шкідливими і небезпечними чинниками є:

електростатичні поля;

електромагнітне випромінювання;

локальне стомлення, загальна втома;

Режими праці та відпочинку при роботі з комп'ютером повинні організовуватися в залежності від виду та категорії трудової діяльності.

Види трудової діяльності поділяються на 3 групи:

Група А – робота із зчитуванням інформації з екрану комп'ютера з попереднім зачитом;

Група Б – робота з введенням інформації; Група В - творча робота в режимі діалогу;

За основну роботу з комп'ютером слід приймати таку, яка займає не менше 50 % роботи протягом часу роботи комп'ютера.

Для видів трудової діяльності встановлюється 3 категорії тяжкості і напруженості роботи з комп'ютером, які визначаються:

для групи А – по сумарному числу опрацьованих знаків за час роботи з комп'ютером, але не більше 60 000 знаків;

для групи Б – по сумарному числу зчитуються або вводяться знаків за час роботи з комп'ютером, але не більше 40 000 знаків;

для групи В – по сумарному часу безпосередньої роботи з комп'ютером, але не більше 6 годин за час роботи з комп'ютером;

Для забезпечення оптимальної працездатності і збереження здоров'я протягом часу роботи необхідно переконатися, що монітори комп'ютера мають анти блокове покриття (окрім групи А) з коефіцієнтом відбиття не більше 0,5. Покриття повинне також забезпечувати зняття електростатичного заряду з поверхні екрана, іскріння і накопичення пилу. Корпус монітора повинен забезпечувати захист від іонізуючих та неіонізуючих випромінювань. Необхідно перевірити робоче положення комп'ютера від стань між стіною з віконними прорізами і столом має бути не менше 0,8 м. При невеликій кількості робочих місць бажано розташувати столи біля протилежної стіни щодо віконних прорізів. Відстань між робочими столами повинно бути не менше 1,2 м. Не допускається знаходження другого робочого місця з боку задньої стінки комп'ютера. Оптимальними параметрами температури в кабінеті є 19-21 °С, допустимі 18-22 °С, відносна вологість повітря 62-55 %.

Тривалість безперервної роботи з комп'ютером без регламентованої перерви не повинна перевищувати 2 годин. Під час регламентованої перерви з метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, усунення впливу гіподинамії, запобігання розвитку втоми доцільно виконувати комплекси вправ. Рівень шуму в приміщенні під час роботи комп'ютерів не повинен перевищувати 50 дБ. Конструкція відео монітора повинна передбачати

заходи, що забезпечують хорошу розбірливість зображення, незалежну від зовнішнього освітлення.

5.2 Заходи щодо виробничої санітарії та гігієни праці

є) Для нормалізації параметрів повітряного середовища в виробничих приміщеннях передбачається використовувати технічні засоби забезпеченню нормованих параметрів. До них відноситься водяне або парове опалення, природна вентиляція. У адміністративних приміщеннях використовуються кондиціонери.

Розрахунок надходження теплоти у приміщення, та визначення кондиціонера.

Визначаємо надходження теплоти в приміщення о 18 год. Орієнтування будівлі на ПівдЗ. Площа приміщення складає 35 м², висота 4 м. Розміри вікна 2х1.2 м², площа тіні 0,33 м², подвійне скління. Вікна без сонцезахисних пристроїв. Атмосфера району – незабруднена. Кількість робочих місць 6: 4 жінки та 2 чоловіки. Освітлення здійснюється за допомогою люмінесцентних ламп, загальна потужність яких в приміщенні складає 1,75 кВт. Температура в приміщенні складає 38°C.

За таблицею 5.3.1 визначаємо значення прямої (qv.п.) та розсіяної (qv.р.) сонячної радіації о 18 годині:

$$qv.п. = 344 \frac{\text{ккал}}{(\text{год} \cdot \text{м}^2)} \quad qv.р. = 95 \frac{\text{ккал}}{(\text{год} \cdot \text{м}^2)}$$

Кількість теплоти, що знаходиться до приміщення через подвійне скління для розрахункової години розраховуємо:

$$Q_{\text{сир}} = (q_0 F_n + q_1 F_p) K_{\text{вдл}} \frac{\text{ккал}}{\text{год}} \quad (5.1)$$

де q_D та q_I – кількість теплоти, яка надходить до приміщення через світлові прорізи, які опромінюються та не опромінюються прямою сонячною радіацією;

F_D та F_P – площа заповнення світлового прорізу, яка опромінюється прямою та розсіяною сонячною радіацією відповідно, m^2 ;

Таблиця 5.1 Максимальні значення кількості теплоти прямої ($q_{в.п.}$) та розсіяної ($q_{в.р.}$) сонячної радіації

Показник	Кількість теплоти при заповненні світлових прорізів в залежності від часу доби та орієнтування світлових прорізів, ккал/(год* m^2)							
	До полудня							
	Пі	ПівнС	Сх	ПівдС	Пів	ПівдЗ	З	ПівнЗ
	Після полудня							
	Пів	ПівнЗ	З	ПівдЗ	Півд	Півд	Сх	Півп
$q_{в.п.}$	80	426	423	344	257	96	-	-
$q_{в.р.}$	64	93	112	95	75	66	56	54

$K_{в.дн}$ – коефіцієнт відносного проникнення сонячною радіації через заповнення світлового прорізу.

Таблиця 5.2 Коефіцієнт K_1 , який враховує затінення скління світлових прорізів перепльотами та забруднення атмосфери

Скління	Значення коефіцієнту для світлових прорізів K_1 та атмосфери		
	Незабрудненої (незалежно від Опромінення)	Забруднений в промислових районах	
		Які опромінюються сонцем в розрахункову годину	Які в розрахункову годину перебувають в тіні
Одинарне без перепльотів	1	0.75	1.75
Подвійне без перепльотів	0.9	0.68	1.58

Таблиця 5.3 Коефіцієнт K_2 , який враховує забруднення скла

Забруднення скла	Значення коефіцієнту
Значне	0.85
Помірне	0.9
Незначне	0.95
Чисте скло	1

$$q_0 = (q_{в.п.} + q_{в.р.}) K_1 K_2 \text{ ккал/(год}\cdot\text{м}^2) \quad (5.2)$$

Площа віконного прорізу, яка опромінюється сонячною радіацією складає:

Площа віконного прорізу, яка опромінюється сонячною радіацією складає:

$$F_{лр} = F_{0.с.} - F_p (\text{м}^2) \quad (5.3)$$

Загальна кількість теплоти, яка надходить до приміщень через віконний проріз, визначається формулою:

$$Q_{c.pr} = (q_0 F_n + q_1 F_p) K_{відн} \text{ ккал/год} \cdot \text{м}^2 \quad (5.4)$$

$K_{відн}$ - коефіцієнт відносного проникнення сонячної радіації через заповнення світлового прорізу. При одинарному склінні $K_{відн} = 0,9 \dots 1,0$; при подвійному $K_{відн} = 0,8 \dots 0,9$.

Виділення теплоти від штучного освітлення розраховують за формулою:

$$Q_{осв} = 860 * n * N_{осв} \text{ ккал/год} \quad (5.5)$$

де n - коефіцієнт переходу електричної енергії в теплову; для люмінесцентних ламп $n = 0,5$;

$N_{осв}$ - сумарна потужність джерел освітлення, кВт.

При розрахунках слід пам'ятати правила переведення енергетичних одиниць:

$$1 \text{ кВт} = 860 \text{ ккал/год};$$

$$1 \text{ ккал/год} = 1,163 \text{ Вт}; 1 \text{ Вт};$$

Розрахунок виділеної теплоти людьми, відповідно до табл.5.3.4, за умовою, що в приміщенні знаходяться 2 чоловіки, та 4 жінки, температура в приміщенні 38°C .

Таблиця 5.4 Кількість теплоти, яка виділяється дорослими людьми (чоловіками)

Кількість теплоти, ккал/год, яка виділяється однією людиною при температурі повітря в приміщенні, $^\circ\text{C}$					
10	15	20	25	30	35
130	105	85	55	35	5

$$Q_3 = 5 \cdot 2 + 5 \cdot 4 \cdot 0,85 = 27 \text{ ккал/год} \quad (5.6)$$

Загальна кількість теплоти в розрахункову годину в липні, яку необхідно відвести за допомогою кондиціонування, визначається сумою теплоти джерел тепло надходження:

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{спр}} + Q_{\text{осв}} + Q_3 = 642,4 + 752,5 + 27 = 1421 \text{ ккал/год.} \quad (5.7)$$

Оскільки площа приміщення складає 35 м^2 , то найбільш доцільним є використання кондиціонера типу COOPER&HUNTER CH-S12LHA з холодопродуктивністю 3100 ккал/год. Тоді, за формулою (5.8) знаходимо час, який необхідний для охолодження приміщення за допомогою цього кондиціонера:

$$\begin{aligned} \tau &= C \cdot \gamma \cdot V \cdot (t_{\text{вкл}} - t_{\text{норм}}) / 3600 \cdot 1,163 \cdot Q_{\text{конд}} = 1000 \cdot 1,2 \cdot 140 \cdot (27 - 22) / 3600 \cdot 1,163 \cdot 3100 \\ &= 0,0647 \text{ год.} \end{aligned} \quad (5.8)$$

де C – масова теплоємність припливного повітря (складає $1000 \text{ Дж/кг}^\circ\text{C}$);

γ – густина припливного повітря (складає $1,2 \text{ кг/м}^3$); V – об'єм приміщення, м^3 ;

$t_{\text{вкл}}$ – температура повітря, що складається з приміщення, $^\circ\text{C}$;

$t_{\text{норм}}$ – нормована (оптимальна) температура в приміщенні, яку необхідно досягти шляхом кондиціонування (прийняти ріною 22°C);

ж) З метою організації нормованого освітлення виробничого приміщення доцільним є використовувати систему загального штучного освітлення, що поєднане із природним освітленням.

Нормоване освітлення складає 300 люкс.

До складу системи входять люмінесцентні лампи моделі ЛД 40-60, встановлені у світильники типу ЛПП.

5.4 Заходи з пожежної безпеки

з) Для попередження пожеж передбачається використовувати первинні засоби пожежогасіння. До них відносяться: вогнегасники, пожежний інвентар (покривала з негорючого полотна, ящика з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати, лом, сокири тощо), системи автоматичного пожежогасіння.

Первинні засоби пожежогасіння, в залежності від категорії приміщень, можуть розташовуватись як окремо, так і в складі пожежних щитів.

Також необхідно періодично проводити протипожежні інструктажі, навчання та тренування персоналу.

Визначення категорії приміщення в конструкторському бюро

За вибухо пожежною небезпекою приміщення й будівлі поділяють на п'ять категорій: А, Б, В, Г, Д.

Встановлення категорії приміщення виконується шляхом послідовної перевірки належності приміщення до категорій від найвищої (А) до найнижчої (Д) з урахуванням характеру технологічних процесів і пожежонебезпечних властивостей речовин, що в них застосовується, з метою виявлення можливих обставин і причин виникнення вибухів і пожеж та їх наслідків.

Приймаємо категорію Д, так як ця категорія більш підходить по характеристиці речовин і матеріалів, що зберігаються в приміщенні, а саме знаходяться незаймісті речовини і матеріали в холодному стані, а також кабельні електропроводки до устаткування, окремі предмети меблів на місцях.

Визначення класу пожежі

Залежно від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин й матеріалів пожежі за ДБНВ.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» поділяються на відповідні класи та підкласи:

- клас А – пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, текстиль, папір);

- клас В – пожежі горючих рідин або твердих речовин, які розтоплюються;
- клас С – пожежі газів;
- клас D – пожежі металів та їх сплавів;
- клас Е (додатковий) – пожежі, пов'язані з горінням електроустановок.

Обираємо клас Е (додатковий) пожежі, пов'язані з горінням електроустановок.

Вибір типу та визначення необхідної кількості первинних засобів пожежогасіння.

Визначення видів та кількості первинних засобів пожежогасіння слід проводити з урахуванням фізико-хімічних та пожежонебезпечних властивостей горючих речовин, їх взаємодії з вогнегасними речовинами, а також розмірів площ виробничих приміщень, відкритих майданчиків та установок.

Необхідну кількість первинних засобів пожежогасіння визначають окремо для кожного поверху та приміщення, а також для майданчиків та установок.

Для виробничих приміщень правила розташування та вибору засобів пожежогасіння є такими:

Пожежний інвентар з пожежним інструментом і вогнегасниками розміщується на спеціальних пожежних щитах (стендах). Такі щити (стенди) відповідно до "Правил пожежної безпеки в Україні" встановлюють на території об'єкта з розрахунку один щит (стенд) на площу 5000 м². До комплекту засобів пожежогасіння, які розміщують на стенді, слід включити: вогнегасники – 3 шт.; ящик із піском – 1 шт.; пожежне покривало розміром 2×2 м – 1 шт.; гаки – 3 шт.; лопати – 2 шт.; лом – 2 шт.; сокири – 2 шт. Ящик із піском, який є елементом конструкції пожежного щита (стенда), повинен мати місткість не менше 0,1 м³ та виключати потрапляння в нього опадів.

Серед первинних засобів пожежогасіння особливе місце займають вогнегасники, які відзначаються високою ефективністю дії. Вибір типу та визначення потрібної кількості вогнегасників здійснюється згідно вогнегасної здатності вогнегасників, граничної площі,

класу пожежі горючих речовин та матеріалів у захищеному приміщенні, або на об'єкті (стандарт ISO 3941-77). Крім перерахованих параметрів береться до уваги також категорія приміщень за вибух пожежною та пожежною небезпекою.

Вибір типу вогнегасника (пересувний чи переносний) зумовлений розмірами можливих осередків пожеж; у разі збільшення їх розмірів рекомендується використовувати пересувні вогнегасники. Відстань від можливого осередку пожежі до місця розгашування вогнегасника не має перевищувати: 20 м – для громадських будівель та споруд; 30 м – для приміщень категорій А, Б, В (горючі гази та рідини); 40 м – для приміщень категорій В, Г; 70 м – для приміщень категорії Д.

Для гасіння великих загорянь у приміщеннях категорій А, Б, В застосовують стаціонарні установки водяного, газового, хімічного та повітряно-пінного гасіння.

5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

Інженерно-технічні заходи, спрямовані на підвищення стійкості виробничих об'єктів до впливу ударної хвилі.

Ударною хвилею називається область різкого стиску середовища, що поширюється у вигляді сферичного шару від місця вибуху з надзвуковою швидкістю. Ударні хвилі класифікуються в залежності від середовища поширення. Ударна хвиля в повітрі виникає за рахунок передачі стиснення і розширення шарів повітря. Зі збільшенням відстані від місця вибуху хвиля слабшає і перетворюється на звичайну акустичну. Хвиля при проходженні через дану точку простору викликає зміни в тиску, що характеризуються наявністю двох фаз: стиснення та розширення. Період стиснення настає відразу і триває порівняно невеликий час в порівнянні з періодом розширення. Руйнівна дія ударної хвилі характеризують

надлишковий тиск у її фронті (передній межі), тиск швидкісного напору, тривалість фази стиснення.

Вражаюче дія ударної хвилі характеризується величиною надлишкового тиску. Надмірний тиск – це різниця між максимальним тиском у фронті ударної хвилі і нормальним атмосферним тиском перед ним. При надлишковому тиску 20-40 кПа незахищені люди можуть одержати легкі поразки (легкі забиті місця і контузії). Вплив ударної хвилі з надлишковим тиском 40-60 кПа призводить до поразок середньої важкості: втраті свідомості, ушкодженню органів слуху, сильним вияхів кінцівок, кровотечі з носа і вух. Важкі травми виникають при надлишковому тиску понад 60 кПа. Вкрай важкі поразки спостерігаються при надлишковому тиску понад 100 кПа. Ударна хвиля ядерного вибуху може на значній відстані від центра вибуху завдавати поразки людям, руйнувати споруди і ушкоджувати бойову техніку. Ударна хвиля являє собою область сильного стиснення повітря, що розповсюджується з великою швидкістю у всі сторони від центра вибуху.

Швидкість поширення її залежить від тиску повітря у фронті ударної хвилі: поблизу центра вибуху вона в декілька разів перевищує швидкість звуку, але із збільшенням відстані від місця вибуху різко падає. Вражаюча дія ударної хвилі на людей і руйнуючу дію на бойову техніку, інженерні споруди і матеріальні кошти передусім визначаються надмірним тиском і швидкістю рушення повітря в її фронті. Незахищені люди можуть, крім того поранитися осколками скла, що летять з величезною швидкістю і обломками будівель, що руйнуються, падаючими деревами, а також частинами бойової техніки, що розкидаються, камінням і іншими предметами, що приводяться в рушення швидкісним натиском ударної хвилі.

Найбільші непрямі поразки будуть спостерігатися в населених пунктах і в лісі; в цих випадках втрати військ можуть виявитися більшими, ніж від безпосередньої дії ударної хвилі. Ударна хвиля здатна завдавати поразки і в закритих приміщеннях, проникаючи туди через щілини і отвори. Поразки, що наносяться ударною хвилею, поділяються на легкі, середні, важкі і надто важкі.

Легкі поразки характеризуються тимчасовим пошкодженням органів слуху, загальною легкою контузією, ударами і вивихами кінцівок. Важкі поразки характеризуються сильною контузією всього організму; при цьому можуть спостерігатися пошкодження головного мозку і органів черевної порожнини, сильна кровотеча з носа і вух, важкі переломи і вивихи кінцівок. Механічне вплив ударної хвилі оцінюється за ступенем руйнувань, викликаних дією хвилі (виділяються слабке, середнє, сильне повне руйнування). Енергетичне, промислове і комунальне обладнання в результаті дії ударної хвилі може отримати пошкодження, також оцінюються за їх тяжкості (слабкі, середні і сильні). Вплив ударної хвилі може призвести також до пошкоджень транспортних засобів, гідровузлів, лісових масивів. Як правило, шкода, яка завдається впливом ударної хвилі, дуже великий, він наноситься як здоров'ю людей, так і різним спорудам, устаткуванню і т.д.

ВИСНОВКИ

1. На основі комплексного підходу, розрахункового та експериментального, для багатокомпонентних ЖНС отримані нові регресійні моделі, що дозволяють адекватно прогнозувати теплофізичні характеристики за хімічним складом сплаву, це дозволило реалізувати рішення задачі розрахункового прогнозування критичних температур за хімічним складом сплаву.

2. На основі термодинамічної підходу вперше отримані нові співвідношення $K_{\gamma'}$ і K_{γ} за величиною яких можна адекватно прогнозувати температурні характеристики для багатокомпонентних композицій рівноважних ЖНС.

3. Виявлено залежності співвідношення $K_{\gamma'}$ до температур повного розчинення γ' фази, евтектичного перетворення і солідусу пояснюються зв'язком легування сплаву γ' - утворюють елементами, і що знаходяться в γ - твердому розчині, що підвищує критичні температури сплавів.

4. Встановлено, що отримані залежності K_{γ} до температури ліквідус і інтервалу кристалізації мають параболічний характер з екстремумом в інтервалі значень 4,5 ... 5 K_{γ} , що відповідає взаємозв'язку γ -утворюючих елементів до γ' - утворюючих елементів як 5: 1. З підвищенням значення K_{γ} спостерігається деяке збільшення температури ліквідус, але максимуму при цьому не досягається.

5. Показано перспективний і ефективний напрямок у вирішенні задачі прогнозування термодинамічної стабільності фаз сплавів, що впливає на службові властивості сплавів як при розробці нових ЖНС, так і при вдосконаленні складів відомих промислових марок даного класу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Langston, J.S. Gemsof turbine efficiency. *Global gas turbine news*. 2014. № 9. P. 76-77.
2. Then, O. Emsland KA26 power plant: high efficiency with flexibility. *Modern Power Systems*. 2008. №3. P. 10-16.
3. Hino, T. Development of a new single crystal superalloy for industrial gas turbines. *Superalloys-2000, TMS*. 2000. № 9. P. 729-736.
4. Bouse, G.K. Optimizing SC Rene N4 alloy for DS AFT-stage bucket applications in industrial gas turbines. *Superalloys-2008, TMS*. 2008. № 9. P. 99-108.
5. Koizumi, Y. Third generation single crystal superalloys with excellent processability and phase stability. *Cost Conf. Liege, Part 2*. 1998. № 8. P. 1089-1098.
6. Sugimoto, T. R&D Plan for the Next-Generation Marine Gas. *Turbine Super Marine Gas Turbine*. Tokyo. 1999. № 7. P 100.
7. Arai, M. *Proceedings of the International Gas Turbine Congress*. 2003 Tokyo. 2-7November. 2003. № 11. P 7.
8. Badeer, G.H. GE Aeroderivative Gas Turbines - Design and Operating Features. *GE Power Systems*. 2000. № 9. P. 20.
9. O'Rourke, R. Navi Ship Propulsion Technologies: Options for Reducing Oil Use - Background for Congress. *CRS Report for Congress, Order Code RL 33360*. 2006. № 9. P 35.
10. Thisdell, D. Rolls-Royce Osprey engines to go directly to hovercraft application. *Flight International*. 2012. № 10. P. 37-41.
11. Rolls-Royce, The MT30 Marine Gas Turbine. Powering the world's future fleets. *Rolls-Royce Power Engineering plc*. 2014. № 13. P. 10.
12. Nickens, A. Hybrids on the High Seas: Fuel Sells for Future Ships. *Navi Newsstand*. 2004. №8. P. 52-57.

13. Reed, R.C. The superalloys. Fundamentals and Applications. *New York: Cambridge: University Press*. 2006. № 2. P 372.
14. Guedou, J.Y. N18, PM superalloy for disks: development and applications. *Superalloys-1992, TMS*. 1992. P. № 6. 267-276.
15. Kamaraj, M. Rafting in single crystal nickel-base superalloys – An overview. *Sadhana*. 2003. P. № 7. 115-128.
16. Голубовский, Е.Р. Температурно-временная зависимость анизотропии характеристик длительной прочности монокристаллов никелевых жаропрочных сплавов. *Проблемы прочности*. 2002. № 2(356). 5-19 с.
17. Gayada, J. Fatigue Behavior of a Third Generation PM Disk Superalloy. *NASA-TM*. 2008. № 9. P. 126-138.
18. Guedou, J. Development of a New Fatigue and Creep Resistant PM Nickel-Base Superalloy for Disk Applications. *Superalloys-2008, TMS*. 2008. № 13. P. 21-30.
19. Cu, Y. Development of Ni-Co- Base Alloy for High. *Temperature Disk Applications, TMS*. 2008. № 19. P. 53-62.
20. Логунов, А.В. Современные жаропрочные никелевые сплавы для дисков газовых турбин. *Наука и технологии*. 2013. № 1. 256 с.
21. Кишкин, С.Г. Литейные жаропрочные материалы на никелевой основе *Машиностроение*. 1987. № 9. 112 с.
22. Huron, E.S. Development of High Temperature Capability P/M Disk Superalloys. *Superalloys-2008, TMS*. 2008. № 3. P. 181-190.
23. Pat. 4083734, United States, IC C22C19/05. Superalloy optimized for high temperature performance in high-pressure turbine disk. *Special Metals Corporation– № 05/691161*. 1978. № 12. P 5.
24. Rice, D. P/M Allot-10-A700 Capable Nickel-Based Superalloy for Turbine Disk Applications. *Superalloys-2008, TMS*. 2008. № 11. P. 139-148.
25. Сидоров, В.В. Фазовый состав и термостабильность литейного жаропрочного никелевого сплава с кремнием. *Металлы*. 1990. №3. 26-32 с.

26. Durber, G. Effect of small amounts of nitrogen and silicon on microstructure and properties of MAR-M002 nickel-base superalloys. *Metals Technology*, 1984, № 4, P. 129-137.
27. Лашко, И.Ф. Физико-химический фазовый анализ сталей и сплавов. *Металлургия*. 1978, № 10, 336 с.
28. Pat. 6468368, United States, IC C22C1/04. Hight strength powder metallurgy nickel base alloy. *Assignee Honeywell International*, 2002, № 14, P. 12.
29. Pat. 0303666, United States, IC C22C30/00, C22C19/05. Nickel base superalloys and components formed thereof. *Wessman; assignee General Electric Company* – № 12/474651, 2010, № 15, P. 14.
30. Erickson, G.L. DS and SX superalloys for industrial gas turbines. *Materials for Advanced Power Engineering. Part II. Proc. of a Conf. Belgium. Kluwer Academic Publishers*, 1994, № 9, P. 1055- 1074.
31. Каблов, Е.Н. Литейные жаропрочные сплавы, Эффект С.Т. Кипкина, Научно-техн. Е.Н. Каблов. *Наука*, 2006, № 1, 272 с.
32. Каблов, Е.Н. Никелевые жаропрочные сплавы для литья лопаток с направленной и монокристаллической структурой (часть I). *Материаловедение*, 1997, № 4, 32-39 с.
33. U.S. Geological Survey Mineral commodity summaries 2014. *Reston, Virginia: USSG*, 2014, P. 196.
34. Каблов, Е.Н. Особенности легирования и термообработки литейных жаропрочных никелевых сплавов (Часть I). *Материаловедение*, 2001, № 4, 9-15 с.
35. Бокштейн, С.З. Электронно-микроскопическая автордиография в металловедении, *Металлургия*, 1978, 263 с.
36. Патон, Б.Е. Жаропрочности литейных никелевых сплавов и защита их от окисления, Киев: Наукова думка, 1987, 258 с.
37. Петрушин, Н.В. Структурная стабильность никелевых жаропрочных сплавов при высоких температурах. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 1984, № 5, 36-39 с.

38. Беликов, С.Б. О влиянии тантала на характеристические точки жаропрочных никелевых сплавов. *Вісник двигунобудування*. 2004. № 3. 99-102 с.

39. Каблов, Е.Н. Литейные жаропрочные никелевые сплавы для перспективных авиационных ГТД. *Технология легких сплавов*. 2007. № 2. 17-23 с.

40. Сидоров, В.В. Влияние лантана на жаростойкость монокристаллов из высокожаропрочного сплава ВЖМ4-ВИ, содержащего рений и рутений. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2012. № 3. 23-27 с.

41. Петрушин, П.В. Исследование влияния размерного несоответствия параметров кристаллических решеток γ - и γ' -фаз на характеристики жаропрочных дисперсионно-твердующих никелевых сплавов. *Металлы*. 1981. №6. 153-159 с.

42. Епишин, А.Е. Высокотемпературная ползучесть монокристаллов никелевых жаропрочных сплавов с ориентацией. *Материаловедение*. 1999. №5. 56-73 с.

43. Hessel S.J., James A.W., Blackham S.A., Small C.J., Winstone M.R. Assignee Rolls-Royce Plc, № 08/834335. 1999. P. 7.

44. Pat. 6132527, United States, IC C22C19/05. Characterised by the inclusion of tantalum, and by the combination of ranges of chromium, molybdenum, titanium and aluminium; for compressor or turbine discs of gas turbine engines with fatigue crack propagation resistance; strength / S.J. Hessel, W. Voice, A.W. James, S.A. Blackham, C.J. Small, M.R. Winstone; assignee Rolls-Royce Plc, № 09/206965.2000. P. 7.

45. Ilotka A. A. Prediction of the thermodynamic processes of phase separation in single-crystal refractory alloys based on nickel. *Materials Science*. 2020. Vol. 55, № 6. P. 878-883.

46. Glotka A. A., Haiduk S. V. Prediction of the thermodynamic processes of phase separation in single-crystal nickel. *Materials Science*. 2019. № 6. P. 91-95

47. А.Д. Коваль, Паспорт на жаропрочный коррозионноустойчивый никелевый сплав ЗМИ-ЗУ (ХН64ВМКЮТ). утв. проректор по научной работе Н.С. Гамов. Запорожье. 1995. 30 с.

48. С.В. Гайдук, Пат. 67814. Украина, МПК⁶ C22C 19/05. Литейный жаропрочный коррозионностойкий никелевый сплав, заявитель и патентообладатель Запорожский нац. техн. ун-т. - № U201108648; заявл. 11.07.11; опубл. 12.03.12, Бюл. №5. - 6 с.

ДОДАТОК А

МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метою даної роботи є отримання прогнозують регресійних моделей, за допомогою яких, можна адекватно розраховувати критичні температури для ЖНС рівноважної кристалізації, без проведення попередніх експериментів.

Для експериментально-теоретичних досліджень температурної працездатності сформована робоча вибірка сплавів, що складається з відомих промислових ЖНС для рівноважного лиття вітчизняного і зарубіжного виробництва, наступних марок: ЖС6У, ЖС6К, ВЖЛ12У, ВЖЛ12Е, В1900, ІН 100, MAR M200, MAR M246, TRW NASA 6A , WAZ16, U500, U700, ЖСЗДК, ЖСЗЛС, ВХ4Л, ЧС88У, ЧС104, RENE77, ІН939, ІН738LC, CM681, RENE220, NFP1916, ЧС70С, CM939WELDABLE. Вибірка сплавів була зроблена з позиції різноманітності хімічних складів (систем легування), які за змістом основних елементів мають широкий діапазон легування.

Математична обробка експериментальної статистики за класом ливарних ЖНС була здійснена в стандартному програмному комплексі Microsoft Office в пакеті MS EXCEL методом найменших квадратів з отриманням функцій відгуку, які оптимально описують залежність між двома змінними (х, у).

ЗАПРОПОНОВАНІ ЗАЛЕЖНОСТІ

В результаті обробки експериментальних даних вперше запропоновано співвідношення:

$$K_{\gamma'} = 5 \cdot \frac{\sum_p (Al + Ti + Nb + Ta + Hf)}{\sum_p (Cr + W + Mo + Re + Co + Ru)},$$

елементів для оцінки термодинамічної стабільності фаз, яке враховує комплексний вплив всіх компонентів сплаву.

Запропоновано наступне співвідношення елементів:

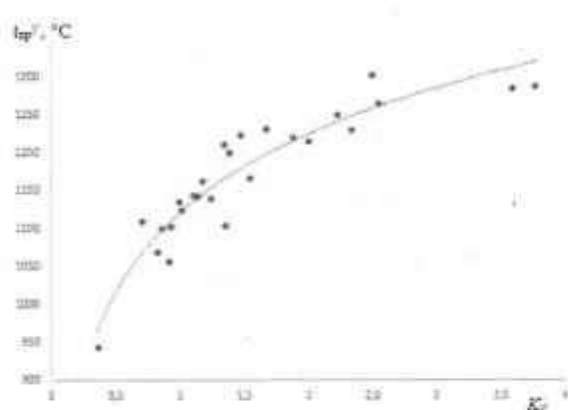
$$K_{\gamma} = \frac{\sum_p (Cr + W + Mo + Re + Co + Ru)}{\sum_p (Al + Ti + Nb + Ta + Hf)},$$

яке дає можливість досить точно прогнозувати температуру ліквідус і температурний інтервал кристалізації ЖНС

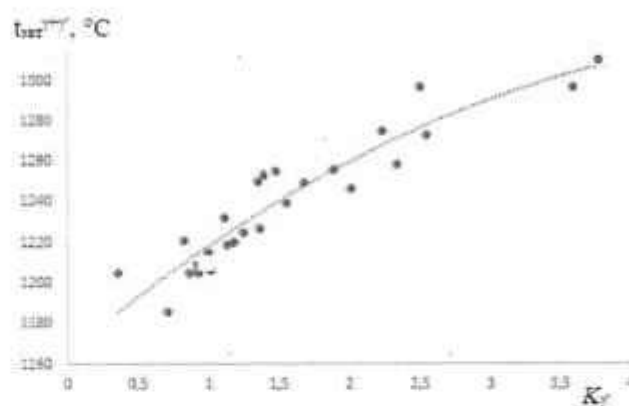
**МАТЕМАТИЧНІ ЗАЛЕЖНОСТІ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЖНС ВІД ПАРАМЕТРІВ $K_{\gamma'}$ И K_{γ}**

Критичні температури	Прогнозуючі регресійні моделі
Температура повного розчинення γ' -фази	$t_{\text{уп}}^{\gamma'} = 150,56 \ln(K_{\gamma'}) + 1120,3$
Температура евтектичного перетворення $\gamma \leftrightarrow \gamma'$	$t_{\text{евт}}^{\gamma-\gamma'} = -5,3757(K_{\gamma'})^2 - 57,694(K_{\gamma'}) + 1165,8$
Температурний інтервал гомогенізуючого відпалу	$\Delta t_{\text{гоm}} = 84,603(K_{\gamma'})^{-1,295}$
Температура солідус	$t_s = 38,458 \ln(K_{\gamma'}) + 1265,4$
Температура ліквідус	$t_l = 3,6863(K_{\gamma'})^2 - 38,472(K_{\gamma'}) + 1443,6$
Температурний інтервал кристалізації	$\Delta t_{\text{кр}} = 5,3508(K_{\gamma'})^2 - 44,467(K_{\gamma'}) + 159,7$

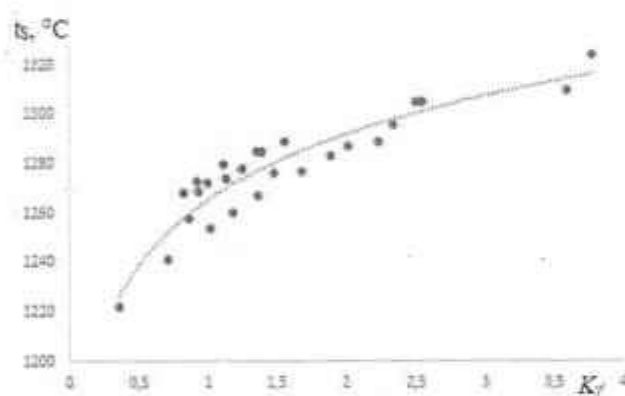
ЗАЛЕЖНІСТЬ КРИТИЧНИХ ТЕМПЕРАТУР І ІНТЕРВАЛУ
ГОМОГЕНІЗАЦІЇ ВІД СПІВВІДНОШЕННЯ ЛЕГУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ В
СКЛАДУ ЖНС: А - $T_{\text{пр}}^{\gamma} = f(K_{\gamma})$; Б - $T_{\text{эвт}}^{\gamma+\gamma'} = f(K_{\gamma})$; В - $\Delta T_{\text{ГОМ}} = f(K_{\gamma})$; Г - $T_s = f(K_{\gamma})$.



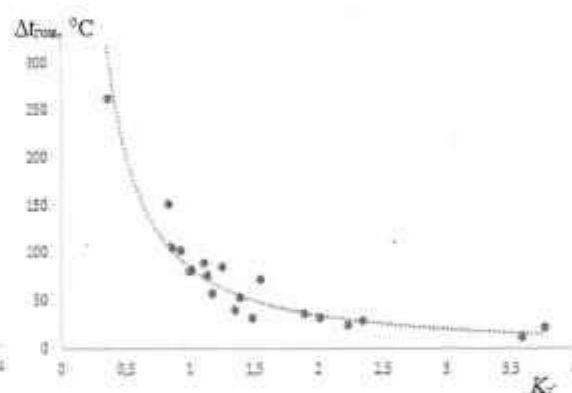
а



б

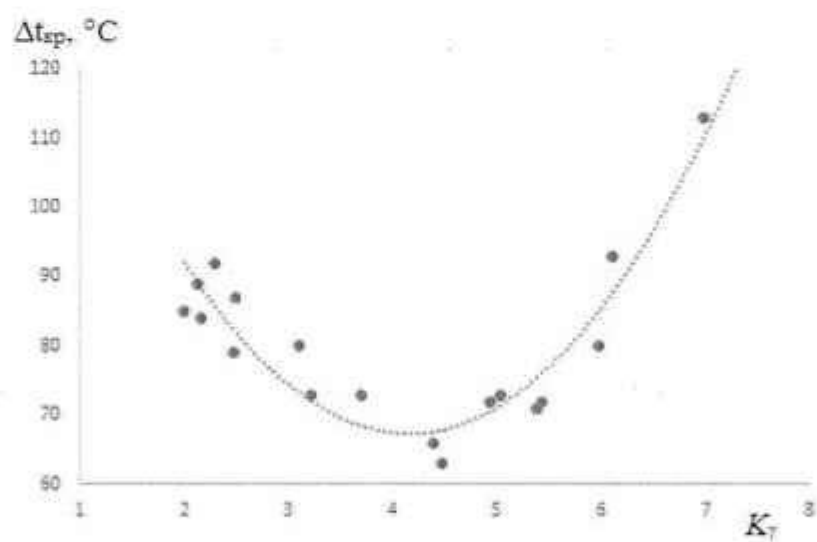
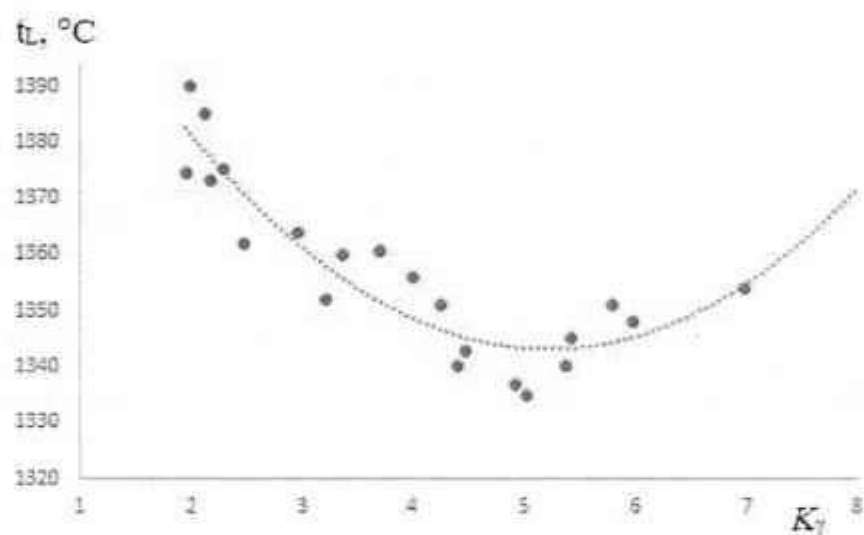


в



г

ЗАЛЕЖНІСТЬ ТЕМПЕРАТУРИ ЛІКВІДУСУ (А) І ІНТЕРВАЛУ
КРИСТАЛІЗАЦІЇ (Б) ВІД СПІВВІДНОШЕННЯ K_T .



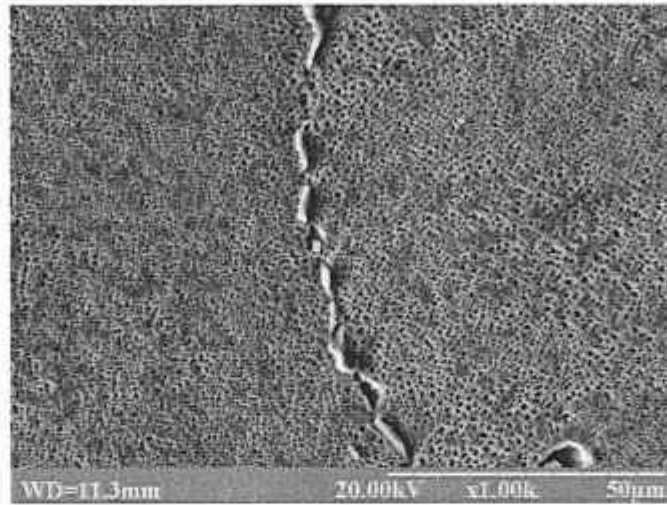
а

б

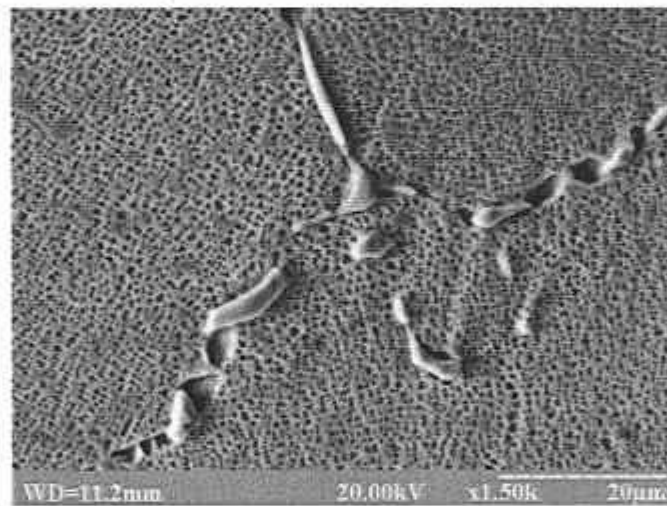
**РОЗРАХУНКОВІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ТЕПЛОФІЗИЧНІ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИВАРНИХ ЖНС**

Метод отримання результатів	Критичні температури, °C					
	$t_{np}^{\gamma'}$	$t_{звт}^{\gamma+\gamma'}$	t_s	t_L	$\Delta t_{гом}$	$\Delta t_{кр}$
ЖСЗЛС-М						
Розрахунковий	1071,63	1200,75	1281,6	1349,4	129,94	67,8
Експериментальний	1070	1202	1280	1348	132	68
ЗМІ-ЗУ						
Розрахунковий	1160,6	1233,5	1260,7	1354,3	72,9	93,6
Експериментальний	1165	1235	1255	1350	68	79

ТИПОВА СТРУКТУРА ЖАРОМІЦНИХ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ НІКЕЛЮ:
ЗМІ-3У (А, Б) ТА ЖСЗЛС-М (В, Г)



а ×1000



б ×1500



B ×2000



r ×1500