

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

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

Фізичне матеріалознавство
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему Аналіз розподілу легувальних елементів у вторинних карбідах ливарних жароміцних сплавах рівновісної кристалізації

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи ІФ-219м
Спеціальності 132 Матеріалознавство
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

Лєсницький Олег Максимович

(прізвище та ініціали)

Керівник Глотка О.А

--

(прізвище та ініціали)

Рецензент Білоник І Я

(прізвище та ініціали)

2020

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

Інститут, факультет Фізико-технічний, інженерно-фізичний факультет
Кафедра Фізичного матеріалознавства

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 132 «Матеріалознавство»
(код і найменування)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 20 ____ року

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

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Аналіз розподілу легувальних елементів у вторинних карбідах ливарних жароміцних сплавах рівновісної кристалізації

керівник проекту (роботи) Глотка Олександр Анатолійович, доцент каф.ФМ, к.т.н
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «02» 11 2020 року № _____

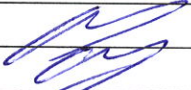
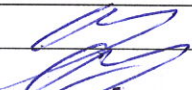
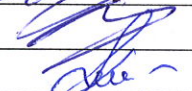
2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) хімічний склад жароміцного нікелевого сплаву

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
1. Літературний огляд 2. Матеріали та методика досліджень. 3. Експериментальна частина 4. Економічна частина 5. Охорона праці в галузі. Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Температурні залежності розчинення (виділення) карбідів типу $M_{23}C_6$ (а), M_6C (б); кількість Cr, W і Mo в карбіді $M_{23}C_6$ (в); Температурна залежність розчину карбідів типу $M_{23}C_6$ (а); M_6C (б) від кількості вольфраму і молібдену в складі карбиду $M_{23}C_6$ (в); вольфраму і молібдену в складі карбиду M_6C (г) від вмісту молібдену в складі сплаву, Температурні залежності розчинення карбідів типу $M_{23}C_6$ (а); M_6C (б) від кількості хрому, вольфраму і молібдену в карбіді $M_{23}C_6$ (в); вольфраму і молібдену в карбіді M_6C (г) від вмісту вольфраму в складі сплаву, Температурні залежності розчинення карбідів від кількості хрому, вольфраму і молібдену в карбіді $M_{23}C_6$ (в); вольфраму і молібдену в карбіді M_6C (г) від вмісту вольфраму в складі сплаву

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	Глотка О.А		
2	Глотка О.А		
3	Глотка О.А		
4	Круглікова В.В		
5	Нестеров О.В		
НК	Ткач Д.В		

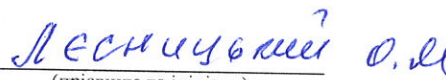
7. Дата видачі завдання « 10 » жовтня 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

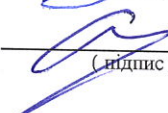
№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналітичний огляд	10.10.2020	
2	Матеріали та методики досліджень	26.10.2020	
3	Експериментальна частина	05.11.2020	
4	Економічна частина	16.11.2020	
5	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	10.12.2020	

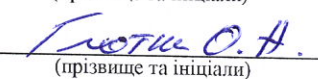
Студент(ка)


(підпис)


(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)


(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 85 с., 11 рис, 15 табл., 40 джерел

Об'єкт дослідження – вторинні карбіди в структурі жароміцних нікелевих сплавів.

Мета роботи: дослідження впливу легувальних елементів на розподіл карбідів в багатокомпонентній системі типу Ni - 10Cr - 4,5Co - 5,5Al - 2,5Ti - 5W - 4Mo - 1Nb - 0,18C за допомогою методу прогнозування CALPHAD (пасивний експеримент) в порівнянні з експериментальними даними, отриманими методом електронної мікроскопії (активний експеримент).

В дипломній роботі теоретичне моделювання термодинамічних процесів виділення надлишкових фаз з використанням метода CALPHAD в програмній оболонці JMatPro. А також практичне дослідження структури та розподілу хімічних елементів в карбідах в залежності від легування сплава з використанням растрового електронного мікроскопу РЕМ-106І.

ЖАРОМІЦНИЙ НІКЕЛЕВИЙ СПЛАВ, СПРЯМОВАНА КРИСТАЛІЗАЦІЯ,
МІКРОСТРУКТУРА, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ВТОРИННІ
КАРБІДИ, РОЗПОДІЛ ЛЕГУВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ТЕМПЕРАТУРИ
ВИДІЛЕННЯ КАРБІДІВ, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, ОХОРОНА
ПРАЦІ

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Аналітичний розділ.....	7
1.1 Характеристика ливарних жароміцних сплавів та виробів з них	7
1.2 Вплив легувальних елементів на структуру та властивості жароміцних сплавів	11
1.3 Особливості легування сплавів зі спрямованою кристалізацією.....	17
1.4 Структура жароміцних нікелевих сплавів.....	21
1.5 Розмір зерна нікелевих сплавів.....	23
1.6 Особливості термічної обробки жароміцних сплавів	23
1.7 Склад та властивості ливарних сплавів з наведеною кристалізацією ...	26
2 Матеріали та методика досліджень.....	29
2.1 Хімічний склад дослідних сплавів	29
2.2 Моделювання термодинамічних процесів.....	30
2.3 Дослідження мікроструктури на РЕМ	31
3 Експериментальна частина	33
4 Економічна ефективність	45
4.1 Аналіз ринку газотурбінних двигунів.....	45
4.2 Техніко-економічні розрахунки.....	53
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	61
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	61
5.2 Заходи по забезпеченню безпеки.....	62
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	66
5.4 Заходи безпеки надзвичайних ситуацій.....	71
Висновки	76
Перелік посилань.....	78
Додаток А.....	82

ВСТУП

Жароміцні нікелеві сплави широко застосовуються для виготовлення робочих лопаток, найбільш навантажених деталей стаціонарних газотурбінних установок (ГТУ). Основними фазами таких сплавів є γ - твердий розчин на основі нікелю і основна зміцнююча γ' - фаза на основі інтерметаліда Ni_3Al , крім того присутні карбіди типу MeC , Me_{23}C_6 і M_6C , які виділяються на границях і всередині зерен у вигляді дисперсних включень.

Роль карбідів в механізмі зміцнення жароміцних нікелевих сплавах (ЖНС) дуже складна. В залежності від їх морфології і розподілу в структурі вони неоднозначно впливають на механічні властивості. Тонкодисперсні блокові частки на границях зерен можуть мати зміцнюючий ефект, перешкоджаючи ковзанню границь, тим самим покращуючи опір повзучості і міцність на розрив. З іншого боку, якщо карбіди присутні у вигляді суцільних плівок на границях зерен, вони негативно впливають на пластичність.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Характеристика ливарних жароміцних сплавів та виробів з них

Актуальним завданням сучасного двигунобудування є підвищення експлуатаційних параметрів газотурбінних двигунів і, в першу чергу, збільшення температури і тиску газу в турбінах, що визначає перспективу істотного підвищення ККД силових установок і зниження витрати палива. Підвищення температури газу турбореактивного двигуна з 1200°C до 1350°C , збільшить питому тягу на 15%, а питому витрату палива знизить на 8%. Використанні більш високих температур і тисків в сучасних ГТД досягається в основному завдяки істотному розширенню сфери застосування жароміцних сплавів при одночасному підвищенні жароміцності матеріалів, призначених для більш гарячих вузлів двигунів.

Розвиток ливарних жароміцних сплавів на нікелевій основі пов'язаний, перш за все, з тим, що вони дозволяють досягти значного зміцнювального ефекту за рахунок γ' – фази та карбідів при тому їх структурна стабільність дуже висока (рисунок 1.1) [1].

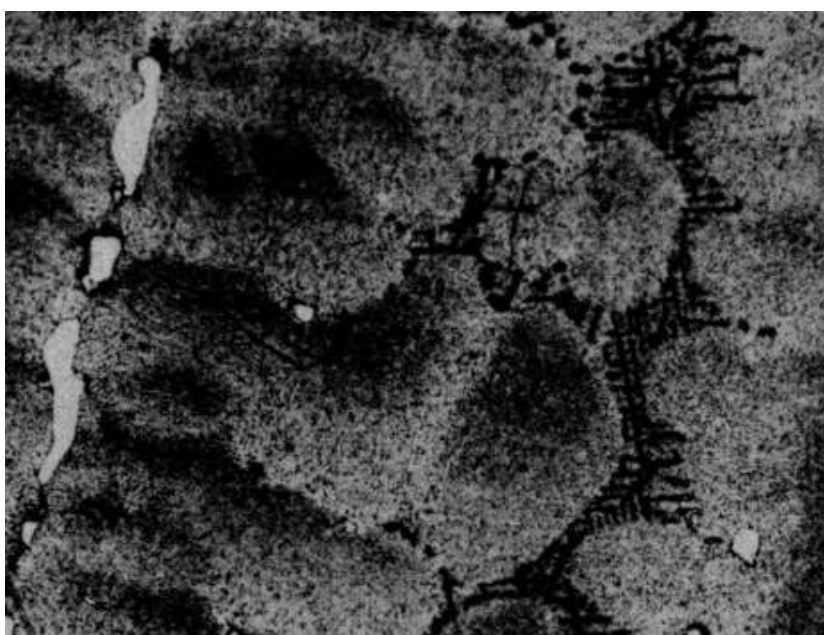


Рисунок 1.1 – Мікроструктура ливарних жароміцних сплавів

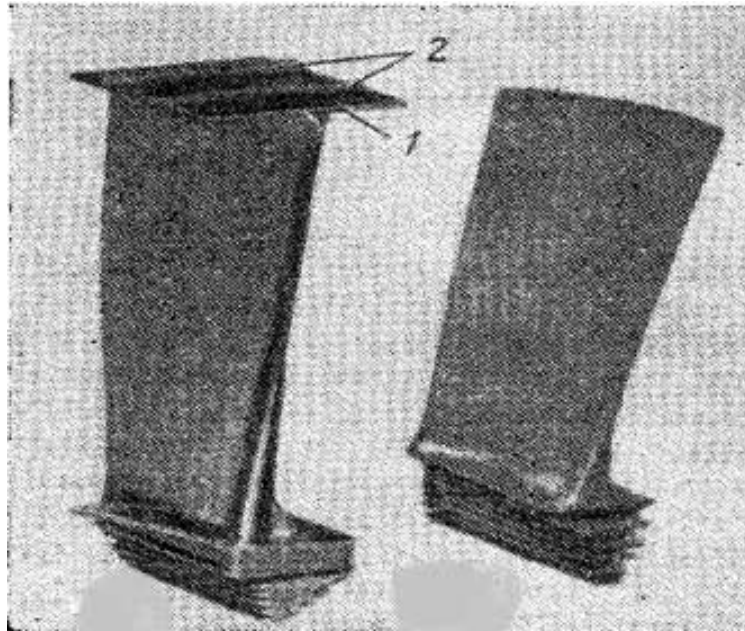
Іншим важливим аспектом у використанні матеріалів цього класу є можливість відливати з них тонкостінні лопатки із складною конфігурацією із розвиненою внутрішньою порожниною без допусків і припусків під механічну обробку або з мінімальною усадкою, що істотно знижує вартість і трудомісткість їх виготовлення. Використанню ливарних жароміцних сплавів для лопаток газових турбін в значній мірі сприяли успіхи в розробці керамічних форм і стрижнів, а також способів їх видалення, що дозволили отримувати виливки з найдрібнішими каналами для охолодження.

Лопатки газотурбінного двигуна (ГТД) це складні і коштовні елементи авіаційних двигунів, які мають ціле безліч варіантів геометрії в залежності від номера ступені [2].

В лопатці розрізняють профільну частину (перо) і замкову (хвостовик). Між пером і хвостовиком лопатки передбачають полицю, яка поліпшує перехід від пера до хвостовика. Наявність полиці підвищує також вібраційні характеристики лопатки. Лопатки фіксуються в ободі за допомогою замків. Профільна частина обтікається надзвуковим або навіколозвуковим потоком повітря, і від її аеродинамічних характеристик залежить ККД. За довжиною лопатки хорди її перерізів повернені відносно хорди кореневого перетину відповідно до закону зміни трикутників швидкостей, тобто лопатка має геометричне закручування. Після установки лопатки на диску полиці утворюють розрізне бандажне кільце. Між полками в холодному стані передбачається невеликий зазор (0,15-0,25 мм). У робочому стані полиці стикаються між собою, при цьому перо кожної лопатки трохи розкручується. Сукупність цих полиць обмежує проточну частину робочого колеса. Для забезпечення безударного входу газу передня крайка полки скруглюється [2].

Вузол кріплення лопатки до обода повинен мати достатню міцність і твердість при малих габаритах і маси хвостовика й деякому ослабленні обода. Він повинен забезпечувати високу точність установки лопатки по кроку й куту, можливість розміщення на ободі необхідної кількості лопаток при збереженні рівномірності елементів кріплення лопатки й обода, низьку

вартість виготовлення, монтажу й демонтажу. Найбільше розповсюдженим для робочих лопаток газової турбіни є хвостовик типу «ялинка». На рисунку 1.2 показані робочі лопатки турбіни.



а

б

а - лопатка з полицею; б - лопатка без полиці

Рисунок 1.2 – Робочі лопатки турбіни [2]

Робочі лопатки повинні задовольняти таким вимогам :

1. Профільна частина повинна мати високі аеродинамічні характеристики: висока підймальна сила, малий лобовий опір і можливість працювати без зриву потоку у великому діапазоні кутів атаки.

2. Конструкція лопаток і матеріал, з якого вони виготовлені, повинен забезпечити високу механічну міцність, оскільки діючі на лопатку відцентрові і газові сили викликають значні напруження згину і крутіння .

3. Конструкція і технологія виготовлення лопаток повинні забезпечити високу точність виготовлення і чистоту обробки поверхні . Відхилення від номінальних розмірів допускаються не більше 0,05 - 0,15 мм, а від номінальних кутів - не більш $\pm 15'$. Чистота обробки профільної частини має великий вплив як на міцність, так і на ККД. Наявність навіть найдрібніших

рисок, особливо на кромках, часто є причиною появи тріщин і виникнення полумок. Тому поверхню профільної частини обробляють до сьомого - дев'ятого класу чистоти, а кромки часто полірують в поздовжньому напрямі.

4. Лопатки повинні мати належні вібраційні характеристики, що виключають можливість виникнення вібрацій лопаток з великими амплітудами в діапазоні робочих режимів двигуна. Розкид частот власних коливань лопаток одного рівня не повинен перевищувати 3 - 4 % [3].

Лопатки забезпечують перетворення енергії газового потоку в механічну роботу турбіни. Зусилля, які виникають на лопатках, через диск передаються на вал. При роботі двигуна на робочі лопатки газової турбіни діють статичні, динамічні і температурні навантаження, створюючи складну картину напружень.

Динамічні навантаження, що є результатом коливань лопаток, викликають в них змінні за величиною та знаком напруження крутіння і згину.

Температурні напруження, що діють на лопатку турбіни, викликаються нерівномірним нагріванням її за товщиною та довжиною, при чому розподіл температур за перерізом залежить від режиму, на якому працює двигун. При запуску тонкі крайки профілю прогріваються швидше, ніж середня масивна частина. При цьому менш нагріті шари, стримуючи розширення більш нагрітих уздовж осі лопатки, викликають у них напруження стискування; в найменш нагрітих шарах виникають напруження розтягу. Аналогічна картина розподілу напружень спостерігається й при сталому режимі: крайки мають більш високу температуру в порівнянні з середньою частиною, оскільки тепловідвід від крайок ускладнений.

При зупинці двигуна в початковий момент великі маси холодного повітря, що протікає, швидко охолоджують вхідні й вихідні крайки робочих лопаток турбіни, викликаючи в них напруження розтягу, які підсумовуються із напруженнями розтягу від відцентрових сил [4].

При роботі на змінних режимах характер температурного навантаження в лопатках турбіни залежить від того, збільшується чи

зменшується температура перед турбіною. У першому випадку картина розподілу напружень аналогічна випадку запуску двигуна, у другому — зупинки. Однак інтенсивність напружень менша, ніж при запуску і зупинці.

До статичних навантажень, що діють на лопатки, відносять відцентрові сили мас лопаток, що виникають при обертанні ротора, і газові сили, що виникають при обтіканні газом профілю й через наявність різниці тисків газу перед та поза лопаткою.

Відцентрові сили викликають деформації розтягу, згину і крутіння, газові — деформації згину і крутіння.

Напруження розтягу є найбільш істотними, особливо для лопаток газової турбіни. Напруження згину значно менші за напруження розтягу. Це пояснюється тим, що лопатку виготовляють і встановлюють так, що напруження згину від відцентрових сил в найбільш навантажених точках перерізу протилежні за знаком напруженню згину від газових сил [5].

1.2 Вплив легувальних елементів на структуру та властивості жароміцних сплавів

Алюміній та титан є основними елементами в γ' -фазі. Надають позитивного впливу на $t_{п.р.}^{\gamma'}$ значно підвищуючи її значення. Збільшення експлуатаційної дововічності сплавів при високій температурі досягається не за рахунок підвищення сумарного вмісту цих елементів, а навпаки, їх концентрації (при загальному збільшенні кількості γ' -фази і γ' -утворювальних елементів в сплавах) має тенденцію до деякого зниження, особливо кількості титану. Подібне явище можна пояснити наступним чином - при досягнутому рівні легування ефективними зміцнювальними факторами стають такі γ' -утворювальні елементи, як гафній Hf, ніобій Nb, тантал Ta тощо, оскільки вони більш інтенсивно стабілізують γ' -фазу і карбіди, таким чином забезпечують

більш широкі можливості для досягнення оптимального параметра невідповідності ґраток на міжфазних γ/γ' границях, що призводить до збільшення термостабільності і жароміцності сплаву в цілому.

Сплави для спрямованої кристалізації (СК) і монокристалічного лиття першого покоління містили від 4,7 до 5,8% Al, а Ti - від 2,0 до 1,0% (за винятком деяких сплавів, зокрема, сплав Rene N4 легований 3,7% Al і 4,2% Ti) [6].

В сплавах 2- і 3-го поколінь, призначених для монокристалічного лиття і для спрямованої кристалізації, вміст Al збільшується до 6,0-6,2%, але при цьому рівень їх легування титаном знизився до 0,7-1,0% , або Ti не вводиться в складі цих сплавів зовсім.

Алюміній є також елементом, що забезпечує жароміцним нікелевим сплавам ефективну протидію від високотемпературної газової корозії [17].

В даний час ці елементи широко використовуються при розробці жароміцних сплавів, вони є сильними карбідоутворювачами. Слід звернути увагу на позитивний вплив гафнію, введення якого в жароміцні нікелеві сплави дозволяє одночасно підвищити як властивості міцності, так і характеристики пластичності. Він декілька збільшує частку евтектичної γ' - фази і позитивним чином змінює морфологію карбідів MC, які набувають форму округлих включень, що призводить до значного покращення механічних властивостей.

Під впливом гафнію утворюються евтектичні виділення γ' - фази, які спотворюють границі зерен та спричиняють підвищення опору повзучості. Позитивна роль гафнію як зміцнювача границь пояснюється ще тим, що, перебуваючи в боридній фазі, він заміщує хром тим самим забезпечують бориду вищу тугоплавкість; крім того, з'єднуючись із сіркою, він створює більш стійкі сульфіди.

Гафній позитивно впливає на термостабільність γ' - фази, збільшуючи температуру її повного розчинення. Введення його в склад сплавів призводить до своєрідної революції в теорії легування. В результаті були створені не

тільки нові сплави з більш високим рівнем жароміцності і пластичності, а й значно покращені розроблені раніше сплави, введення в які гафнію дозволило, не знижуючи жароміцності, істотно підвищити їх пластичність. Показано, що гафній найбільш сильно ліквує в міжосьові ділянки і спричиняє більше, ніж інші легувальні елементи, пересичення міждендритних об'ємів сплаву γ' - утворювальними елементами. Концентрація гафнію в сплавах повинна бути такою, щоб було досягнуто одночасно значне підвищення довговічності і пластичності, але при цьому структурна стабільність сплавів, обумовлена карбідними реакціями, залишалась б досить високою. Введення гафнію в спрямовано закристалізовані сплави дозволило б значно підвищити їх пластичність в поперечному напрямку [6].

Ніобій є одним з ефективних елементів в нікелевих жароміцних сплавах. Він помітно зміцнює твердий розчин і одночасно, перебуваючи в γ' -фазі і карбідах, підвищує жароміцність і знижує схильність сплавів до перестарювання. Більше половини загальної кількості ніобію входить до складу γ' -фази, близько 33% - до складу твердого розчину і 0,2-0,3% - до складу карбонітридів. Ніобій сприятливо впливає на зменшення схильності до зональної ліквації, підвищує температуру рекристалізації та сповільнює дифузійні процеси. В результаті зростають стабільність і жароміцність сплаву.

Теоретичні розрахунки енергії міжатомного зв'язку, а також експериментальні дослідження демонструють, що тантал є одним з елементів, які сильно впливають на термічну стійкість виділень зміцнювальної γ' - фази. Входячи до складу карбідів, він покращує їх морфологію і відповідно удосконалює механізм карбідного зміцнення. Легування жароміцних сплавів танталом забезпечує їх довготривалу працездатність при підвищеній температурі. Найбільш ефективним є спільне легування жароміцних нікелевих сплавів танталом та ренієм, яке забезпечує різке зниження дифузійної рухливості елементів в сплаві, особливо при високих температурах, значне зміцнення твердого розчину та стабілізацію γ' - фази, сповільнення процесів

коагуляції крупних частинок γ' - фази та розчинення її дрібних частинок при високих температурах.

Ванадій ефективно підвищує жароміцність при відносно невеликій концентрації в сплавах, виявляє помітний негативний вплив на жаростійкість, тому введення його в сплави необхідно здійснювати досить обережно. Цирконій присутній в ливарних жароміцних сплавах в малих кількостях, вміст його в сплаві MAR M200 становить 0,05%, а в сплаві BI900 - 0,08%. Залежність пластичності від вмісту цирконію в межах 0,005-0,05% складна: максимальна пластичність спостерігається при введенні 0,01% Zr, при більшому або меншому його вмісті пластичність знижується. Цирконій надає досить позитивно впливає на жароміцність нікелевих сплавів. Спільне легування (Zr + V) сприятливо впливає на властивості сплавів і може підвищувати час до руйнування зразків при випробуванні на повзучість в декілька разів [6,7].

Покращення властивостей жароміцних сплавів значною мірою пов'язано із зміцненням твердого розчину. Ефективними зміцнювачами та стабілізаторами γ' -твердого розчину є елементи групи VI А, а також кобальт. Ці елементи позитивно впливають на властивості нікелевих жароміцних сплавів. Вольфрам в порівнянні з молібденом є більш корисним. Він в помітних кількостях входить до складу як γ -твердого розчину, так і γ' - фази, підвищуючи термостабільність останньої і знижуючи дифузійні процеси в сплавах при високій температурі. Вольфрам - один з найбільш ефективних зміцнювачів високожароміцних сплавів, при цьому негативний вплив його на пластичність порівняно невеликий. Однак слід враховувати високу густину цього елементу. Молібден – позитивний елемент в ливарних сплавах, в тому числі в жароміцних. Молібденомісткі сплави, більш стійкі до сульфідної корозії в порівнянні зі сплавами, в яких він відсутній. Він підвищує стабільність Ni_3Al , уповільнює дифузію алюмінію в γ -твердому розчині, коагуляцію інтерметалідної фази і тим самим підвищує жароміцність нікелевого сплаву. В сучасних високожароміцних сплавах молібден є менш

ефективним зміцнювачем в порівнянні з вольфрамом і ренієм, тому введення його в сплави, призначені для роботи при більш високих температурах, доцільно лише в обмеженій кількості.

Істотно покращуючи жароміцні властивості сплавів, реній, як і вольфрам, є одним з тих небагатьох елементів, які підвищують температуру плавлення нікелевих сплавів і надають найбільш помітний вплив на термостабільність γ -матриці. Реній входить в основному в γ -твердий розчин (вміст його в γ' -фазі невеликий, близько 0,2%), сприяючи при цьому витіснення з твердого розчину в γ' -фазу таких ефективно стабілізуючих її елементів, як алюміній і тантал. Таким чином, він підвищує не тільки термостабільність матриці, но і позитивно впливає на термостабільність γ' -виділень. Реній знижує дифузійні процеси, що протікають при високих температурах в жароміцних нікелевих сплавах, а також істотно підвищує їх опір високотемпературній газовій корозії [7,8].

В сучасних сплавах, призначених для отримання виливків з монокристалічною структурою (сплави 2-го і 3-го покоління), сумарний вміст (W + Mo + Re + Ta) досягає 20% (мас.). Підвищення жароміцності сплавів супроводжується помітним зниженням вмісту в них хрому: з 18-20 до 2-7% в сплавах з монокристалічною структурою. Спричинено це тим, що в складнолегованому багатокомпонентному твердому розчині розчинність хрому зменшується, - тоді він утворює самостійні фази або сприяє їх утворення: фази на основі α -Cr, α - і σ -фаз, карбіди $M_{23}C_6$, M_6C тощо, що призводить до погіршення властивостей як через виникнення фаз несприятливої морфології, так і внаслідок збідніння основних фаз необхідними для їх стабільності легувальними елементами. Крім того, в високожароміцних сплавах хром зменшує кількість γ' -фази (яка виділяється при розпаді), погіршує термостабільність γ' -фази і тим самим чинить негативний вплив на довговічність і пластичність. Більш ніж інші елементи, він розширює інтервал кристалізації сплавів, що погіршує їх технологічність. Разом з тим зниження вмісту хрому призводить до неминучого зниження

жаростійкості. Ця важлива обставина має враховуватися при розробці нових сплавів і покриттів для захисту від окислення. Кобальт в цілому в невеликій ступені підвищує жароміцність, його присутність призводить до помітного збільшення пластичності сплавів. Оптимальний вміст кобальту знаходиться на рівні 10% і коливається в межах від 3,0 (сплав CMSX-10) до 12,5% (сплав Rene N6). Вміст його в сучасних високіжароміцних сплавах на нікелевій основі з рівноосьовою структурою не перевищує 0,2%. У деяких випадках, коли необхідно забезпечити високу пластичність, допустима кількість вуглецю в сплавах з рівноосьовою структурою знижується до 0,03-0,07% (сплав IN 713LC модифікація ливарного сплаву IN 713). Однак при цьому спостерігається певне падіння міцності і довговічності. Низьким вмістом вуглецю (до 0,02%) характеризуються також сплави з підвищеним вмістом бору (до 0,1%), в яких карбідне зміцнення замінено боридним. Знижений вміст вуглецю мають сплави для НК (в тому числі для одержання монокристалічних лопаток).

Вуглець помітно знижує температуру плавлення сплавів, зменшуючи їх термічну стабільність. Зокрема, введення 0,05% вуглецю в жароміцний нікелевий сплав ЖС40 знизило температуру з ліквідус 1353 до 1322°C, а температура солідус цього сплаву зменшилась з 1320 до 1280°C. Вказана обставина особливо важлива для сплавів зі спрямованою стовбчастою і монокристалічною структурою, призначених для роботи при найбільш високих температурах. В цілому, при отриманні оптимальних концентрацій вуглецю необхідно одночасно враховувати, що виникнення гарячих тріщин при литті лопаток складної конструкції більш ймовірно при відсутності вуглецю, що утворює не тільки досить стабільні при високій температурі зміцнюючі карбідні фази, але і зміцнення малокутових границь, що з'являються в процесі росту кристалів. Крім того, вуглець є ефективним розкислювачем рідкого металу. В сучасних сплавах з монокристалічною структурою вміст вуглецю коливається від 0,001 до 0,05%[9-12].

1.3 Особливості легування сплавів зі спрямованою кристалізацією

Раніше для спрямованої кристалізації використовували сплави, розроблені стосовно до звичайних методів лиття, без зміни їх складу. Проте подальший досвід показав, що для успішної спрямованої кристалізації високолегованих жароміцних нікелевих сплавів необхідне коригування хімічного складу з урахуванням специфіки кристалізації. Вказане положення ґрунтується результатами досліджень, виконаних для сплаву типу ЖС із змінним вмістом вольфраму і титану – найбільш схильних до ліквідації елементів (перший - з негативною, другий - з позитивною ліквідацією) і ефективно впливають на формування дендритної структури.

Досліджували вплив змінного змісту вольфраму (при 1% Ti) і титану (при 9% W) на властивості сплаву одного складу з рівновісною та спрямованою структурами. Інтервали змінного легування (1-2,5% Ti; 9-12% W) були обрані з урахуванням близькості досліджуваних композицій до реальних сплавів, а також необхідності збереження їх в області однакового фазового складу. Зразки випробовували на тривалу міцність до руйнування за такими режимами: $T = 975^{\circ}\text{C}$, $\sigma = 200 \text{ МПа}$ (РК); $T = 975^{\circ}\text{C}$, $\sigma = 220 \text{ МПа}$ (НК).

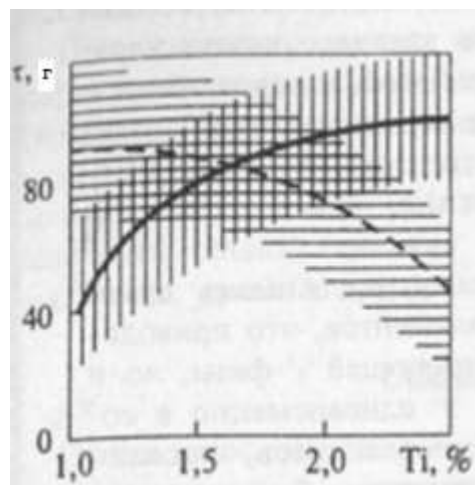
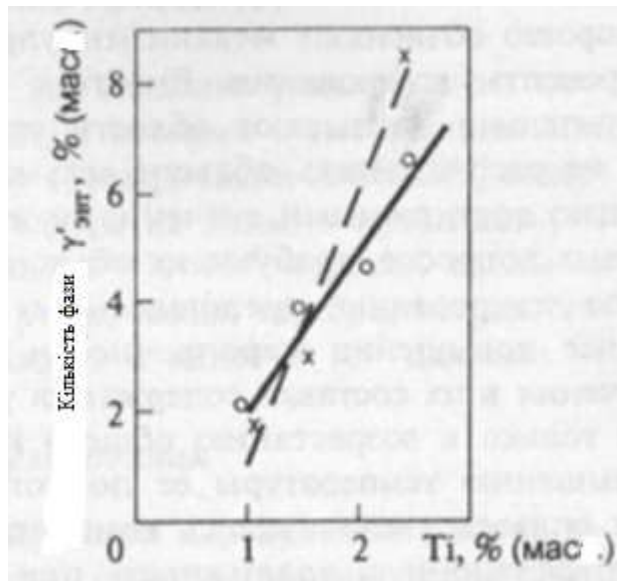


Рисунок 1.3 – Вплив вмісту титана на довговічність (довготривалу міцність) сплавів типу ЖС26 з рівновісною та спрямованою структурою

Різниця в рівні напружень при випробуванні зразків з рівновісною і спрямованої структурами обумовлена тим, що НК підвищує межу довготривалої міцності приблизно на 20 МПа, і це необхідно враховувати при оцінці «чистого» впливу легування на властивості.

Зі збільшенням вмісту титану від 1 до 2,5% довговічність (випробування на тривалу міцність) зразків з рівновісною структурою зростає.



(—) рівновісна; (---) спрямована структура

Рисунок 1.4 – Вплив вмісту титану на кількість γ' – фази в сплаві ЖС

Із збільшенням вмісту титану від 1 до 2,5% довговічність (випробування на тривалу міцність) зразків з рівновісною структурою зростає. Ефект досягається при спрямованій кристалізації - збільшення кількості титану від 1 до 1,5% не впливає на довговічність, до 2,5% - кілька знижує її (рисунок. 1.3). Як при рівновісній, так і при спрямованій кристалізації з підвищенням вмісту титану в сплаві зростає об'ємна частка фази $\gamma'_{звт}$, але темпи зростання її кількості в сплавах з спрямованої структурою вище (рис. 1.4) [13, 14]. Диференціальний хімічний фазовий аналіз показав, що зміцнювальна γ' -фаза неоднорідна за складом, і чим значніші ліквідаційні процеси в межах дендритних осередки, тим більше виражена неоднорідність. Таким чином, встановлено, що в складнолегованих жароміцних ливарних

сплавах змінна за складом γ' -фаза в межах одного сплаву виділяється в областях різного складу - від осей дендритів до міжвісних просторах.

Час до руйнування зразків з рівновісною структурою збільшується в 2-3 рази завдяки зміні вмісту вольфраму з 9 до 12% (рисунок 1.5).

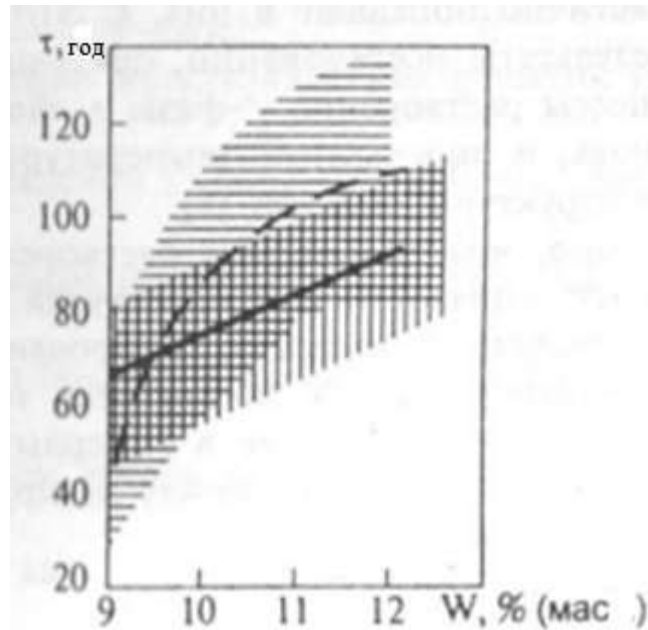


Рисунок 1.5 – Вплив вмісту вольфраму на довговічність сплаву типу ЖС26 (з 1%Ti) з рівновісною та спрямованою структурою

Тенденція до підвищення довговічності спостерігається і у сплавів з спрямованою структурою, проте характер залежності інший: збільшення вмісту вольфраму від 1 до 12% не сприяє подальшому зростанню довговічності зразків. Ймовірно, вплив вольфраму на довговічність сплаву з відмінностями структур при РК і НК [15].

При цьому слід зазначити, що із збільшенням вмісту вольфраму збільшується і його концентрація в γ' -фазі. Цим частково може бути обумовлено підвищення довговічності зразків (незалежно від способу кристалізації), оскільки зі збільшенням концентрації вольфраму в γ -фазі термічна стабільність її зростає. Вольфрам в досліджених межах легування при формуванні дендритів в меншій мірі сприяє протіканню ліквідаційних процесів, ніж титан. Титан, ліквідується в міжвісній ділянці, призводить до більш

суттєвих змін при формуванні дендритної структури, ніж вольфрам. Цим пояснюється різний характер залежностей довговічності від вмісту в сплаві вольфраму і титану при рівновісній і спрямованій кристалізації.

При випробуванні на тривалу міцність руйнування зразків з одновісною структурою відбувається по межах зерен, а в сплавах із спрямованою структурою - в міжвісних просторах по межах розділу $\gamma'_{\text{евт}}$ - матриця і карбід -матриця. Титан і вольфрам по-різному впливають на стан границь зерен і междендритних просторів. Титан збільшує кількість $\gamma'_{\text{евт}}$ -фази в областях найменшого опору руйнування при спрямованій кристалізації.

Зі збільшенням в сплаві концентрації вольфраму ці процеси проявляються в меншій мірі, тому темпи зростання довговічності зразків сповільнює. При рівновісній кристалізації, коли зміни в формуванні дендритів безпосередньо не пов'язані з областями найменшого опору руйнуванню, підвищення довговічності зразків при введенні титану і вольфраму в сплав йде завдяки сприятливому впливу цих елементів на термічну стабільність γ' -фази.

Таким чином, найбільші властивості сплавів, отриманих методом спрямованої кристалізації, забезпечуються при іншому (у порівнянні зі сплавами рівновісної структури) вмісті основних легувальних елементів, що обумовлено специфічними особливостями структури, які визначаються умовами лиття.

Досвід освоєння лиття високожароміцних сплавів методом спрямованої кристалізації показав, що більш високий рівень дендритної ліквідації в цих сплавах при недостатньо ретельному контролі процесу виникає ряд негативних наслідків. Зокрема, при невеликих градієнтах температур на фронті зростання і великої протяжності твердорідкої зони виникають спрямовані вгору конвективні потоки розплаву междендритного складу, що являється, як показали дослідження і розрахунки більш легким (через підвищений вміст γ' -утворювальних елементів з малою густиною - алюмінію і титану). Ці потоки призводять до утворення на поверхні виливків НК поздовжніх струменів з рівновісними зернами, що знижують експлуатаційні

властивості. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є спрямоване легування. Це пояснюється тим, що в межах області концентрацій, що забезпечують при НК заданий рівень властивостей, кращі композиції з поєднані з γ - і γ' -утворювальними елементами, що забезпечує при литті найменшу відмінність густини розплаву і рідини междендритного складу (за рахунок оптимального поєднання легких і важких елементів) і мінімальний інтервал кристалізації.

Легування сплавів з монокристалічною структурою має свої специфічні особливості. Оскільки в монокристалах відсутні границі зерен, то необхідно виключити з них елементи (або значно знизити їх концентрацію), зміцнювальні границь зерен: С, Zr, В, Hf, В зокрема підвищені термостійкість і опір циклічним руйнуванням.

1.4 Структура жароміцних нікелевих сплавів

Нікелеві сплави зміцнюються при наявності певних і досить очевидних особливостей структури. Основними складовими нікелевих сплавів є наступні елементи:

- Матриця сплаву (γ -фаза). Цілісна матриця, яка представляє собою аустенітну фазу на нікелевій основі з ГЦК граткою, зазвичай із підвищеним вмістом елементів, що утворюють тверді розчини: кобальту, хрому, молібдену і вольфраму.

- γ' -фаза. Алюміній і титан введені в кількості і взаємних пропорціях, які забезпечують виділення великих об'ємних кількостей γ' -фази (ГЦК гратка), яка виділяється когерентно з аустенітом.

- Карбіди. Вуглець міститься в кількості - 0,05-0,2% і зазвичай взаємодіє з наявними хімічно активними і тугоплавкими елементами з утворенням первинних MeC карбідів. Під час термічної обробки і в процесі

експлуатації вони розпадаються на карбіди зі зниженим вмістом вуглецю Me_{23}C_6 і Me_6C , які виділяються по межах зерен. У жароміцних сплавах спостерігається чотири типи карбідів. Їх утворення визначається складом сплаву, температурою та часом. Карбіди МС, які сформувалися в процесі кристалізації сплаву, при довготривалому впливі високої температури і напруження можуть зазнавати перетворення у карбіди інших типів: Me_{23}C_6 , Me_6C . Карбіди Me_{23}C_6 стабільні до температур $900\ldots 1000^\circ\text{C}$; при більш високих температурах стійкими є подвійні карбіди типу Me_6C . Карбідні виділення, які утворилися в твердій фазі мають пластинчасту морфологію та слугують концентраторами напружень, негативно впливаючи на в'язкість руйнування.

- Зерногранична γ' -фаза. Для багатьох сплавів розроблені режими термічних обробок, які забезпечують утворення плівки γ' по межах зерен; вважають, що це сприяє досягненню оптимальних характеристик тривалої міцності.

Фази типу ТЩУ. До ТЩУ-фаз у жароміцних нікелевих сплавах відносяться тетрагональна σ -фаза і ромбоєдрична μ -фаза. ТЩУ-фази утворюються з γ - твердого розчину сплаву у вигляді тонких пластин в інтервалі температур $750\ldots 1000^\circ\text{C}$, часто зароджуються на карбідах Me_{23}C_6 та Me_6C по границях зерен. У жароміцних нікелевих сплавах, які містять реній, випадання σ -фази спостерігається в області більш високих температур ($1000\ldots 1150^\circ\text{C}$) і додатково може утворюватися орторомбічна Р-фаза. Негативний вплив ТЩУ-фаз на механічні властивості жароміцних нікелевих сплавів проявляється у тому, що пластична морфологія фаз служить джерелом зародження та розповсюдження тріщин, які призводять до крихкого руйнування [16].

1.5 Розмір зерна нікелевих сплавів

На міцність жароміцних сплавів значно впливає розмір зерна і товщина деталі. Довговічність і опір повзучості зростають із мірою збільшення співвідношення товщини деталі до розміру зерна. Для деформованого сплаву при умові постійного зазначеного співвідношення, довговічність і опір повзучості зростають зі збільшенням розміру зерна.

Для ливарних жароміцних сплавів характерна та ж сама залежність довговічності і опору повзучості від величини співвідношення товщини до розміру зерна. Проте зміна розміру зерна в межах від 2 до 7 мм через коливання температури лиття не викликало зміни властивостей при даній величині співвідношення. Ці умови мають важливе значення при існуванні великих зерен в тонких перерізах. Тонкостінні відливки можуть характеризуватися зниженими довговічністю і опором повзучості, подібно тонкому листу, підданому перед штампуванням відпуску при високій температурі.

В сучасних литих сплавах контроль розміру зерна дуже важливий: слід зберігати рівновагу між надмірно дрібними зернами, які викликають зменшення опору повзучості та тривалої міцності, і великими зернами, які шкідливо впливають на міцність при розтягуванні і межу плинності [17].

1.6 Особливості термічної обробки жароміцних сплавів

Необхідні жароміцні властивості забезпечуються в результаті термічної обробки, яка складається з гартування на твердий розчин та старіння.

Мета гартування - перевести різні складові сплаву в твердий γ -розчин таким чином, щоб при подальшій операції старіння інтерметалідні фази

виділилися при знижених температурах у високодисперсному стані.

Температури гартування обирають (в залежності від легування) таким чином, щоб отримати необхідну величину зерна і жароміцність.

У ряді випадків застосовують ступінчасте гартування: спочатку сплав гартують з високих температур на повітрі, а потім, вдруге, зі знижених температур ($1000\ldots1050^{\circ}\text{C}$) для виділення і коагуляції карбідів ще до виділення інтерметалідних зміцнювальних фаз з метою підвищення пластичності сплаву.

Швидкості охолодження впливають на жароміцні властивості, які залежать від легування сплаву.

Жароміцні сплави з інтерметалідним зміцненням здатні до повернення властивостей в залежності від температур старіння або робочих температур.

З підвищенням температури (назвемо це перегрівом) вище максимуму, при якому досягається найбільше зміцнення за певний проміжок часу, відбуваються невелика коагуляція інтерметалідів і розчинення їх в γ -твердому розчині, що супроводжується зниженням твердості і жароміцності. Вторинне нагрівання сплаву в цьому стані при знижених температурах сприяє додатковому утворенню інтерметалідних фаз у дисперсному стані, а отже, і додатковому зміцненню.

Для зняття залишкових напружень після механічної обробки, готові лопатки піддають нагріванню при температурах нижче температур гарту, але вище температур старіння, а потім, для відновлення механічних властивостей - додатковому старінню, така послідовність призводить до підвищення експлуатаційної надійності деталей.

Термічну обробку деталей із жароміцних сплавів проводять при високих температурах ($1180\ldots1220^{\circ}\text{C}$) і досить тривалій витримці ($2\ldots10$ год) у печах з різним газовим середовищем і у вакуумі.

Нагрівання у вакуумі, а також у атмосферах аргону, азоту і суміші азоту з 4% H_2 значно зменшує чад легуючих елементів (Cr, Al, Ti, V), завдяки чому виявляється можливим виготовляти деталі з меншими припусками, істотно

заощаджуючи дорогий метал. Тому останнім часом термічну обробку виконують в спеціальних печах, які забезпечують значно менший чад зазначених елементів.

Для сплавів з монокристалічною структурою термічна обробка має більше значення, ніж для сплавів з рівновісною та спрямованою кристалізацією. Оскільки в складі цих сплавів відсутні С, Zr, Hf, що знижують солідус, то тому гомогенізацію їх логічно проводити при більш високій температурі. Тут слід зазначити, що у деяких сплавів, призначених для направленої кристалізації (особливо у сплавів з добавками Al), не вдається повністю розчинити дисперсні виділення γ' - фази і провести повну гомогенізацію γ -твердого розчину без ризику оплавлення междендритних просторів. У цьому випадку сплави гомогенізують при температурі трохи нижче температури. Фази розчиняються частково. Для більш повного розчинення виділень іноді застосовують ступінчастий нагрів до температури гомогенізаційного відпалу [18,19].

Тривалість гомогенізації вибирається залежно від відстані між осями першого порядку X і коефіцієнтів дифузії атомів компонентів, контролюючих дифузійні потоки в γ -твердому розчині дендритів і междендритних просторів.

Добре відомо, що будь-яка крива розподілу концентрації сегрегуючого елементу по дендритних комірках може бути представлена рядом Фур'є, причому максимальна довжина хвилі дорівнює відстані між осями дендритів першого порядку. У цьому випадку основним параметром визначає тривалість гомогенізації, є час релаксації основної гармоніки. Звідси випливає, що менша тривалість гомогенізації потрібно для монокристалів жароміцного нікелевого сплаву (ЖНС) з меншими междендритними відстанями, тобто кристалізованих при високих швидкостях охолодження [20].

1.7 Склад та властивості ливарних сплавів з направленою кристалізацією

Переваги, що забезпечуються спрямованою кристалізацією, стали причиною робіт пов'язаних зі створенням сплавів, спеціально призначених для лиття за допомогою цього прогресивного технологічного процесу. Якщо раніше для спрямованої кристалізації використовувалися найбільш жароміцні сплави, створені методами лиття, то в подальшому були розроблені їх модифікації, а в даний час мовно говорити про спеціальний напрямок по створенню сплавів з орієнтованою стовпчастою та монокристальною структурами і, що є свідченням досягнутих значних успіхів і інтересу до робіт в цьому напрямку.

Склади розроблених стосовно литтям методом спрямованої кристалізації сплавів наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Склади сплавів із спрямованою кристалізацією

Сплав	C	Cr	Co	Al	Ti	Mo	W	Hf	Ta	Zr	V	Si
PWA 1422	0.15	9.0		10.0	5.0	-	12.5	2.0	-	0.05	-	-
122	-	5.4		3.5	12.7	-	1.0	-	-	2.2		
PWA 1409	0.13	9.0	10.0	5.0	2.0	-	1.0	-	-	-	-	--
Rene 150	0.06	5.0	10.	5.5	-	1.0	0.7	10.0	-	1.4	3.5	0.05
PWA 1480	-	9.0	10.0	5.0	2.0	-	-	1.0	-	-	-	-
454	-	10.	5.0	5.0	1.5	-	4.0	-	-	12.0	-	-

Сплав РWA 1480 не вимагає добавок гафнію, вуглецю, бору і цирконію для зміцнення границь зерен. Натомість цих елементів допускаються добавки 1...2% танталу, який підвищує стійкість сплаву до окислення, а такою опір повзучості. Починається освоєння в промисловості сплаву Rene 150. Спільний аналіз складу і властивостей сплавів зі спрямованою структурою показує, що вдосконалення матеріалів цієї групи здійснюється наступним шляхом: зменшенням частки до карбідного зміцнення (сплави Rene 125, Rene 150) або повною відмовою від нього. Майже обов'язковим введенням в склади сплавів таких гостродефіцитних і порівняно мало використовуваних раніше елементів, як тантал, реній тощо. Вказані особливості легування пояснюються тим, що карбіди в основному зміцнюють границі зерен, а оскільки в напрямку кристалізованих сплавів є тільки поздовжні границі (стовпчаста структура) або вони відсутні зовсім (монокристали) то роль карбідів в зміцненні стає інша; це відноситься до всіх елементів, які вводяться в сплави для зміцнення границь зерен, зокрема до бору, цирконію, ітрію, РЗМ. Присутність в сплавах в помітних кількостях танталу і ренію свідчить про те, що саме в матеріалах зі спрямованою кристалізацією дані елементи чинять найбільш ефективний вклад в зміцнення [21].

Необхідність підвищення робочої температури газу перед турбіною обумовлює подальше збільшення вмісту ренію у розроблених нових сплавах до 8...10%; одночасно збільшується і вміст в сплавах танталу. Це забезпечує підвищення робочої температури на 100°C (в порівнянні зі сплавами без ренію). Подібне легування приводить до зростання вартості металу, оскільки реній є найбільш дорогим з усіх використовуваних в сплавах легувальних елементів.

Поряд зі сплавами типу ЖС традиційного γ/γ' -дисперсійного розроблені також сплави типу ВКНА інтерметалідного класу (на основі інтерметаліду Me_3Al) з високим вмістом алюмінію. Шляхом коригування легування цих сплавів, а також лиття їх методом спрямованої кристалізації,

можливо забезпечити рівень властивостей при температурах 900- 1000°C, сумарний з властивостями традиційно-зміцнених сплавів [22].

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Хімічний склад дослідних сплавів

Хімічний склад сплаву ЖС6К наведено в таблиці 2.1 згідно ОСТ 1-90126 - 85

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сплаву ЖС6К, % мас

Елемент	Вміст в сплаві, % мас
Fe	До 2
C	0,13-0,2
Si	До 0,4
Mn	До 0,4
Ni	60,1-68,4
S	До 0,015
P	До 0,015
Cr	9,5-12
Ce	До 0,025
Mo	3,5-4,5
W	4,5-5,5
Co	4-5,5
Ti	2,5-3,2
Al	5-6
Zr	До 0,04
B	До 0,02
Pb	0,001
Bi	0,005

В системі багатокомпонентного легування Ni-10Cr-4,5Co-5,5Al-2,5Ti-5W- 4Mo-1Nb-0,18C, що відповідала складу сплаву ЖС6К середнього рівня

легування, діапазон варіювання елементами був вибраний з міркувань максимальної і мінімальної кількості елемента, що вводиться в склад. Таким чином, для дослідження було обрано карбідоутворюючі елементи в наступних діапазонах легування: Cr (1-35)%; Mo (1-6)%; W (1-16)% за масою.

2.2 Моделювання термодинамічних процесів

Моделювання термодинамічних процесів, які протікають при кристалізації (охолодженні) або нагріванні в структурі сплавів здійснювали методом CALPHAD в програмній оболонці JMatPro.

За допомогою методу CALPHAD збирають всю експериментальну інформацію про фазові рівноваги в системі і всю термодинамічну інформацію, отриману в результаті термохімічних і теплофізичних досліджень. Потім термодинамічні властивості кожної фази описуються математичною моделлю, що містить регульовані параметри. Параметри оцінюються шляхом оптимізації відповідності моделі всієї інформації, включаючи співіснують фази. Потім можна перерахувати фазову діаграму, а також термодинамічні властивості всіх фаз. Ідея методу CALPHAD полягає в тому, щоб отримати узгоджений опис фазової діаграми і термодинамічних властивостей, щоб надійно передбачити набір стабільних фаз і їх термодинамічні властивості в областях без експериментальної інформації і для метастабільних станів під час моделювання фазових перетворень.

Моделювання термодинамічних процесів дозволило провести розрахункове прогнозування та порівняльну оцінку впливу легуючих елементів в карбідах різних типів на їх розподіл і хімічний склад в досліджуваних сплавах. Розрахунки проводили за кожним дослідженням складом індивідуально при покроковому введенні певного легуючого елемента в фіксований склад багатокomпонентної системи. Результати, що отримані за

моделюванням процесу кристалізації, дозволяють за хімічним складом досліджуваного сплаву розрахувати температури, тип і кількість фаз, що виділяються, а також типи карбідів та їх хімічний склад.

Моделювання процесу кристалізації сплаву здійснювали від температури рідкого стану (1600°C) до кімнатної температури (20°C) з температурним кроком 10°C по всьому діапазону, що дозволило визначити температурну послідовність виділення фаз в процесі кристалізації.

Прогнозувальні розрахунки проводили за хімічним складом сплаву з визначенням найбільш ймовірного виділення кількості і типу карбідів в структурі, а також їх хімічного складу після моделювання процесу кристалізації.

Отримані дані були оброблені в програмному комплексі Microsoft Office в пакеті EXCEL методом найменших квадратів з отриманням кореляційних залежностей типу «параметр-властивість» і отриманням ліній трендів з математичними рівняннями регресійних моделей, які оптимально описують ці залежності.

2.3 Дослідження мікроструктури на РЕМ

Растровий електронний мікроскоп є вакуумним приладом, так як при нормальному атмосферному тиску електронний пучок сильно розсіюється і поглинається, що унеможлиблює його фокусування. Тому робочий вакуум в камері мікроскопа повинен бути 10^{-5} тор., або ще більше. Електронний пучок від джерела електронів спеціальною конденсорною системою формується у вигляді добре сфокусованого зонда і проходить через систему керуючих електродів або електромагнітів, які переміщують пучок по поверхні зразка по траєкторії, що утворює растр, аналогічний телевізійному растру. Переміщення зонда по поверхні зразка має відбуватися з дуже високою точністю і буде, в

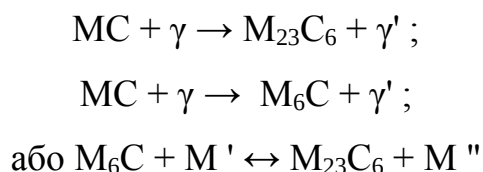
кінцевому рахунку, поряд з розміром зонда, визначати величину дозволу приладу. В результаті взаємодії пучка електронів з поверхнею зразка виникає відповідна реакція, яка реєструється відповідними датчиками. Реєстрований датчиками сигнал використовується в подальшому для модуляції яскравості електронного пучка в електронно-променевої трубки монітора. Величина цього вторинного сигналу буде залежати від фізичних властивостей поверхні зразка і може змінюватися від точки до точки. В результаті на екрані монітора утворюється зображення поверхні зразка, що відображає топографію відповідного фізичного властивості досліджуваного зразка. Таким чином можна досліджувати топографію неоднорідностей дефектів і стану поверхні: наприклад, топологію поверхні (границі зерен, пори, тріщини, неоднорідності складу тощо.) - в відображених або вторинних електронах; розподіл елементного складу по поверхні зразка – в характеристичному рентгенівському випромінюванні; розподіл донорних або акцепторних центрів - за величиною поглиненої струму; топографію магнітної доменної структури - у вторинних електронах тощо. Коефіцієнт збільшення зображення в РЕМ визначається відношенням лінійних розмірів растра, що освітлюється зондом, на поверхні зразка d і на екрані монітора D , тобто $M = D/d$.

Розрішення, що досягається в РЕМ, обмежена ефективним розміром елементу зображення, або, іншими словами, розміром області в зразку, порушено електронним зондом, що має діаметр d_z . З іншого боку величина струму сфокусованого електронного пучка, що взаємодіє з поверхнею зразка, визначає інтенсивність вторинних сигналів. Тому електронно-оптична система, формує зонд, повинна забезпечувати отримання максимально можливого струму при мінімально можливому розмірі зонда.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Вивчення виділення фаз в процесі кристалізації дослідженого сплаву в температурному діапазоні (1600...20°C) показало, що найбільш імовірним є виділення основних фаз в наступному порядку: γ - твердий розчин; евтектика $\gamma+\gamma'$; інтерметаліди типу γ' на основі (Ni_3Al); карбіди типу M_{23}C_6 і M_6C .

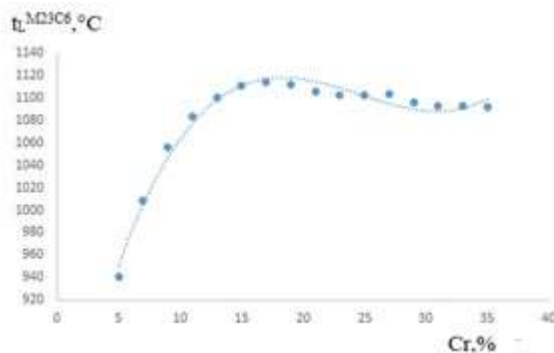
Карбіди M_{23}C_6 утворюються в сплавах з помірним або високим вмістом хрому під час низькотемпературної обробки і в процесі експлуатації при 760...980°C внаслідок розпаду карбідів MC через «залишковий» вуглець, розчинений в γ - матриці. Зазвичай вони розташовуються по межах зерен, іноді вздовж ліній двійників, на дефектах пакування та кінцях двійників і можуть бути центрами зародження пластин σ - фази. До складу карбідів цього типу входять також Mo та W . Внаслідок несприятливого розташування по межах зерен карбіди типу M_{23}C_6 можуть негативно впливати на границю тривалої міцності. Карбіди типу M_6C утворюються в температурному інтервалі 815...980°C в сплавах з більш високим вмістом важкотопких елементів Mo та W . Переважно вони виділяються по межах зерен. У порівнянні з карбідами типу M_{23}C_6 карбіди M_6C більш стабільні при високих температурах. Виділення карбідів M_6C і M_{23}C_6 відбувається за відомими реакцій:



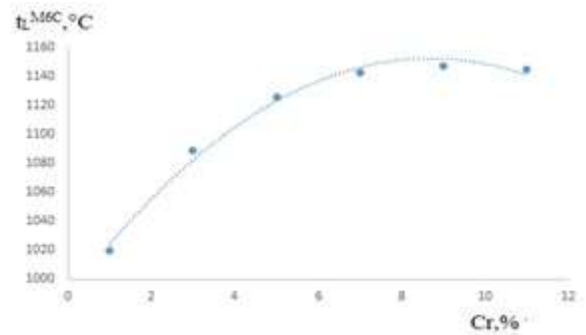
Хром один з основних елементів який підвищує характеристики корозійної стійкості сучасних промислових ЖНС. В середньому вміст хрому знаходиться на рівні 15% за масою, проте для збільшення жаростійкості його кількість може бути підвищена до 30% за масою і більше. Окрім корозійних властивостей, хром бере активну участь в утворенні одного з вторинних

карбідів типу $M_{23}C_6$, який присутній майже у всіх сплавах цього класу. Хоча, хром і є елементом, що впливає на утворення карбідів $M_{23}C_6$, він помітно впливає на температуру розчинення (виділення) карбідів типу M_6C .

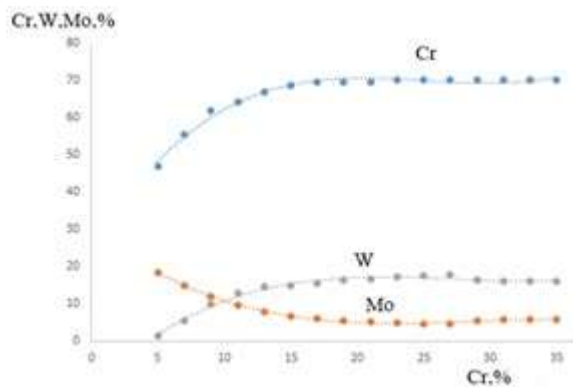
Встановлено, що залежності мають складний характер і оптимально описуються поліномами, що приведені на рисунку 3.1.



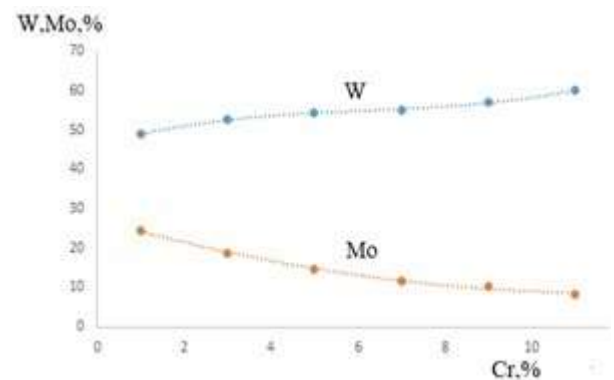
а



б



в



г

а - $M_{23}C_6$; б - M_6C ; в - кількість Cr, W і Mo в карбіді $M_{23}C_6$; г - вміст Cr в складі сплаву;

Рисунок 3.1 - Температурні залежності розчинення (виділення) карбідів

З наведеного рисунку видно, що зі збільшенням в сплаві вмісту хрому, підвищується температура виділення (розчинення) карбідів $M_{23}C_6$ (рис. 3.1 а) і M_6C (рис. 3.б), що оптимально описується залежностями:

- для карбідів типу $M_{23}C_6$:

$$t_L^{M_{23}C_6}, ^\circ C = 0,0295 \cdot (C_{Cr})^3 - 2,1787 \cdot (C_{Cr})^2 + 50,022 \cdot (C_{Cr}) + 751,75;$$

- для карбідів типу M_6C :

$$t_L^{M_6C}, ^\circ C = - 2,1786 \cdot (C_{Cr})^2 + 37,843 \cdot (C_{Cr}) + 988,62$$

Дослідження показали, що хром значно впливає на розподіл елементів в карбіді $M_{23}C_6$ (рис. 1 в). Так, зі збільшенням в сплаві вмісту хрому до 15-17%, його кількість в складі карбідів також збільшується, проте при вмісті хрому в сплаві вище 20% його вміст в складі карбідів практично не змінюється і знаходиться на рівні $\approx 70\%$, що оптимально описується наступною функцією:

$$C_{Cr \text{ } M_{23}C_6}, \% = 0,0032 \cdot (C_{Cr \text{ в сплаві}})^3 - 0,2399 \cdot (C_{Cr \text{ в сплаві}})^2 + 5,8129 \cdot (C_{Cr \text{ в сплаві}}) + 24,981.$$

При цьому, спостерігається підвищення вольфраму до 16% за масою, що оптимально описується кубічної залежністю:

$$C_{W \text{ } M_{23}C_6}, \% = 0,0016(C_{Cr \text{ в сплаві}})^3 - 0,1315(C_{Cr \text{ в сплаві}})^2 + 3,4694(C_{Cr \text{ в сплаві}}) - 12,45.$$

Збільшення концентрації хрому до 5,5% в сплаві призводить до утворення стабільного карбиду на основі хрому (70% Cr, 16% W і 5,5Mo), при цьому в карбіді $M_{23}C_6$ знижується вміст молібдену, що оптимально описується функціональною залежністю:

$$C_{Mo \text{ } M_{23}C_6}, \% = - 0,0012 \cdot (C_{Cr \text{ в сплаві}})^3 + 0,1027 \cdot (C_{Cr \text{ в сплаві}})^2 - 2,8421 \times (C_{Cr \text{ в сплаві}}) + 30,195.$$

Показано, що зі збільшенням вмісту хрому підвищується схильність дослідженого сплаву до виділення в структурі шкідливих ТЩУ фаз

несприятливої морфології. Так, при вмісті в сплаві 15% хрому в структурі утворюється Р- фаза, яка за типом і параметрами кристалевої ґратки, а також хімічним складом близька до карбіду M_6C (52≈% W і 20≈% Cr). Поява зазначеної фази ймовірно пов'язано з тим, що в сплаві при вмісті хрому 11%, карбід M_6C не утворюється. У той же час, збільшення в сплаві кількості хрому до 19% призводить до виділення в структурі σ - фази, кристалічна ґратка якої близька до $M_{23}C_6$, із співвідношенням розмірних параметрів $c / 0,52 \approx a$ і концентрацією хрому ≈52%. У свою чергу, при вмісті хрому 29% в сплаві утворюється γ - твердий розчин на основі хрому, що вказує на відсутність розчинності даного елемента в досліджуваній композиції.

Встановлено, що хром опосередковано впливає на розподіл елементів в карбіді M_6C (рис. 3.1 г). Так, зі збільшенням вмісту хрому в сплаві, в складі карбідів M_6C поступово збільшується концентрація вольфраму і зменшується концентрація молібдену, що оптимально описується кубічним і квадратичним поліномами, відповідно:

$$C_{W \text{ } M_6C}, \% = 0,0248 \cdot (C_{Cr \text{ в сплаві}})^3 - 0,4606 \cdot (C_{Cr \text{ в сплаві}})^2 + 3,3448 \cdot (C_{Cr \text{ в сплаві}}) + 46,083;$$

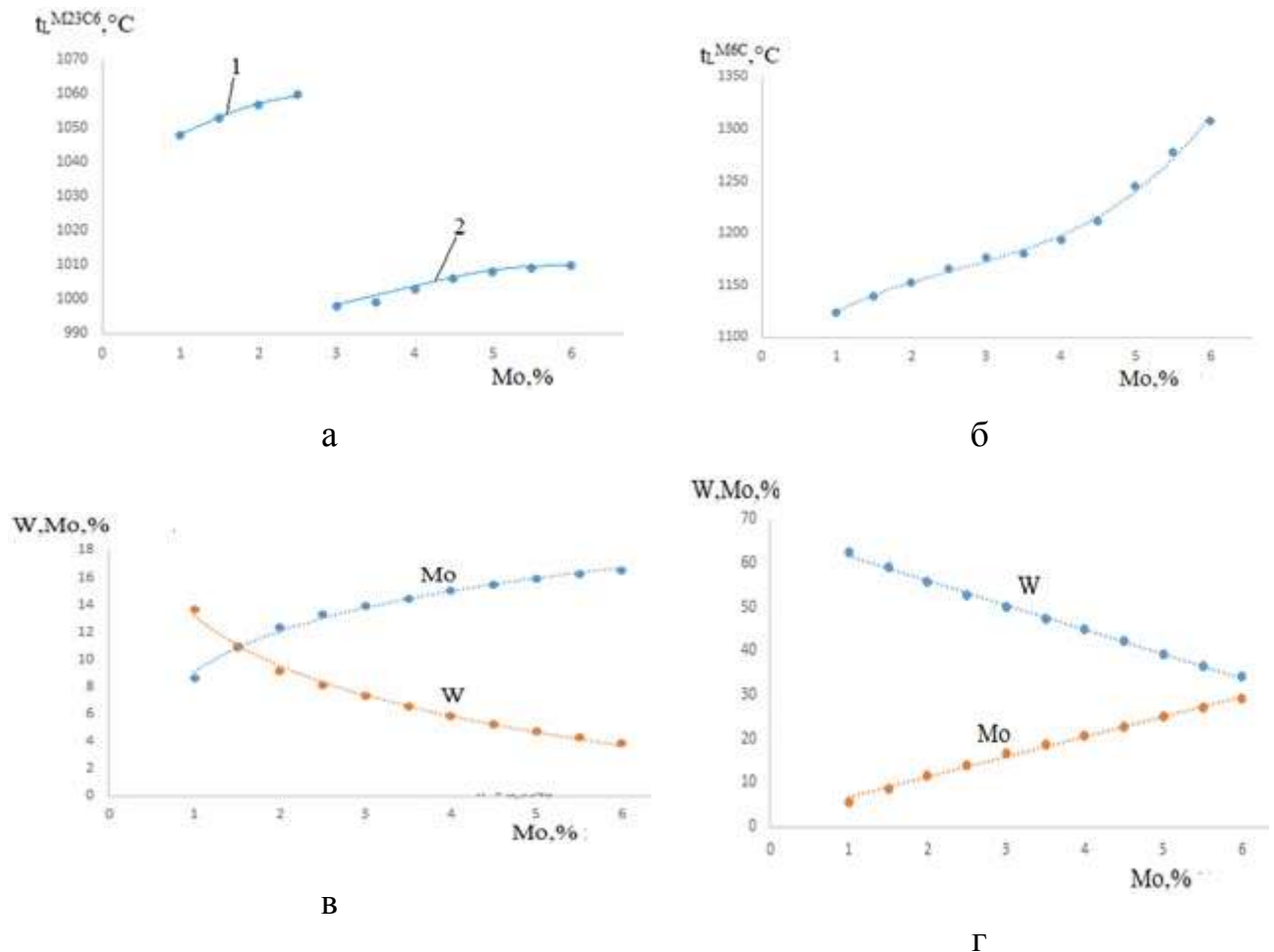
$$C_{Mo \text{ } M_6C}, \% = 0,1338 \cdot (C_{Cr \text{ в сплаві}})^2 - 3,1665 \cdot (C_{Cr \text{ в сплаві}}) + 27,348.$$

Збільшення в сплаві вмісту хрому до 11% і більше призводить до утворення в структурі карбіду M_6C на основі вольфраму, який має складну кубічну кристалічну ґратку. При цьому, в складі карбіду M_6C підвищується концентрація вольфраму до 60% і знижується концентрація молібдену до 8%, що сприяє підвищенню термодинамічної стабільності, в порівнянні з карбідами $M_{23}C_6$.

Молібден, один з елементів який бере участь в утворенні вторинних карбідів і на його основі можуть формуватися карбіди типу M_6C . При цьому, молібден також може входити до складу карбідів типу $M_{23}C_6$. Оскільки в досліджуваній композиції відбувається утворення вище зазначених карбідів,

то в подальшому буде розглянуто вплив молібдену на розподіл елементів у вторинних карбідах типу $M_{23}C_6$ і M_6C .

На рисунку 3.2 показано, що молібден впливає на температуру розчинення (виділення) вторинних карбідів.



а - $M_{23}C_6$; б - M_6C ; в - кількість вольфраму і молібдену в складі карбиду $M_{23}C_6$; г - від вміст молібдену в складі сплаву;

Рисунок 3.2 - Температурна залежність розчину карбідів

Показано, що молібден неоднозначно впливає на температури утворення карбідів (карбідного ліквідуса). В першому випадку (рис. 2, а) для вмісту в сплаві молібдену 2,5% спостерігається логарифмічна залежність, а вище 3% залежність має поліноміальний характер:

- при вмісті молібдену до 2,5% за масою:

$$t_L^{M_{23}C_6}, ^\circ C = 13,13 \ln \cdot (C_{Mo}) + 1047,9;$$

- при вмісті молібдену більше 3% за масою:

$$t_L^{M_{23}C_6}, ^\circ C = - 1,4815 \cdot (C_{Mo})^3 + 18,317 \cdot (C_{Mo})^2 - 68,693 \cdot (C_{Mo}) + 1079,1.$$

При вмісті 3% молібдену в сплаві змінюється тип температурної залежності карбідного ліквідуса, що можна пояснити появою ТЩУ фази (орторомбічна Р- фаза), яка близька за типом і параметрами кристалічної ґратки, а також за хімічним складом до карбіду M_6C , що призводить до зміни термодинамічних процесів у дослідженій системі. При цьому, збільшення вмісту молібдену в сплаві специфічно впливає на температуру виділення (розчинення) карбіду M_6C , що має поліноміальний характер (рис.3.2, б):

$$t_L^{M_6C}, ^\circ C = 2,1368 \cdot (C_{Mo})^3 - 16,879 \cdot (C_{Mo})^2 + 63,936 \cdot (C_{Mo}) + 1075,1.$$

Слід зазначити, що як в карбідах $M_{23}C_6$, так і в карбідах M_6C спостерігається зниження концентрації вольфраму і збільшення концентрації молібдену при зростанні вмісту молібдену в сплаві. Разом з тим, для карбідів $M_{23}C_6$ залежності розподілу цих елементів підкоряються логарифмічному закону (рис. 2, в):

$$C_{W M_{23}C_6}, \% = - 5,304 \cdot \ln(C_{Mo \text{ в сплаві}}) + 13,206;$$

$$C_{Mo M_{23}C_6}, \% = 4,2496 \cdot \ln(C_{Mo \text{ в сплаві}}) + 9,1203.$$

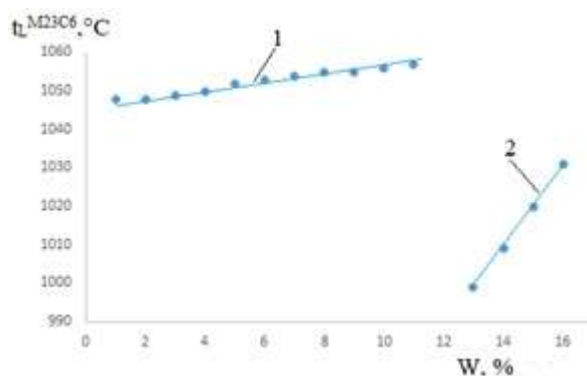
Для карбідів M_6C ці залежності мають лінійний характер (рис.2, г):

$$C_{W M_6C}, \% = - 5,5753 \cdot (C_{Mo \text{ в сплаві}}) + 67,243;$$

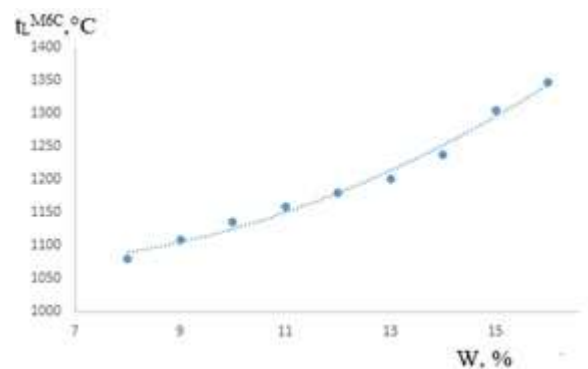
$$C_{Mo M_6C}, \% = 4,628 \cdot (C_{Mo \text{ в сплаві}}) + 2,0411.$$

Це призводить до витіснення вольфраму з карбідів і переважанню молібдену в складі карбідів $M_{23}C_6$, що настає при вмісті 1,5% молібдену, а для карбідів M_6C при 6,5% молібдену в сплаві. Також встановлено, що при вмісті в сплаві 8% молібдену карбіди типу M_6C перетворюються в монокарбіди на основі молібдену.

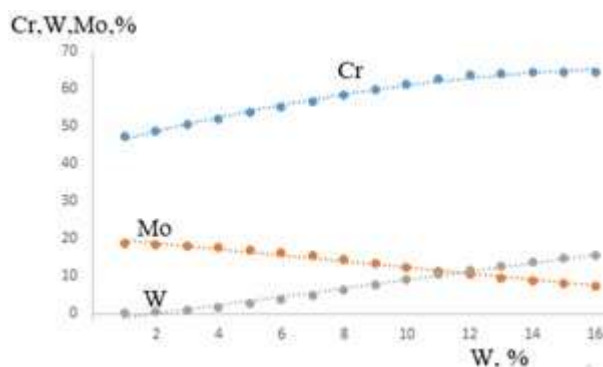
Вольфрам вводять до складу ЖНС з метою підвищення рівня температур фазових перетворень, а, отже, жароміцності сплаву. Вміст вольфраму в сучасних жароміцних нікелевих сплавах знаходиться в досить широких межах 1-16% за масою. Подальше збільшення вмісту вольфраму істотно підвищує ймовірність виділення в структурі ТЩУ фаз. Так на (рис. 3.3 а) видно, що з підвищенням в складі сплаву вмісту вольфраму до 11% за масою підвищується температура розчинення (виділення) карбідів типу $M_{23}C_6$ з 1048° до $1057^\circ C$.



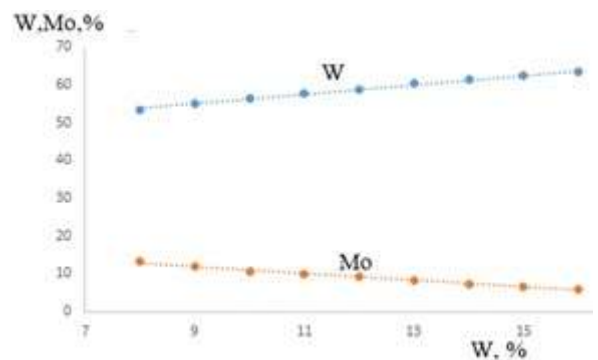
а



б



в



г

а - $M_{23}C_6$; б - M_6C ; в - кількість вольфраму і молібдену в складі карбиду $M_{23}C_6$; г - від вміст молібдену в складі сплаву;

Рисунок 3.3 - Температурні залежності розчинення карбідів сплаву

Подальше збільшення вольфраму в складі сплаву призводить до різкого зниження температури карбідного ліквідуса, що імовірно пов'язано з утворенням орторомбічної Р- фази, яка за типом кристалевої ґратки і хімічним складом близька до складу карбіду M_6C (54,5W-13,59Cr-13,77Ni-10,08Mo-8,02Co), а також перевищенням концентрації вольфраму в карбіді $M_{23}C_6$ по відношенню до молібдену (рис.3, в). Поява зазначеної фази не тільки може впливати на термодинаміку процесів в сплаві, але й негативно впливати на показники жароміцності матеріалу. При цьому, встановлено, що температура розчинення (виділення) карбідів підпорядковується лінійному закону зростання. Так, при вмісті в сплаві до 11% W залежність має наступний характер:

$$t_L^{M_{23}C_6}, ^\circ C = 0,9727 \cdot (C_W) + 1046,6;$$

якщо, більше ніж 11% W, набуває залежність, наведену нижче:

$$t_L^{M_{23}C_6}, ^\circ C = 10,7 \cdot (C_W) + 859,6$$

Виявлено, що карбіди типу M_6C починають утворюватися при вмісті вольфраму в сплаві починаючи з 8% за масою, при цьому формуються карбіди на основі вольфраму. Виходячи з вищезазначеного температурна залежність розчинення (виділення) карбідів типу M_6C знаходиться в межах від 8 до 16% вольфраму в складі сплаву, що оптимально описується параболічною залежністю:

$$t_L^{M_6C}, ^\circ C = 2,316 \cdot (C_W)^2 - 23,784 \cdot (C_W) + 1131,9.$$

Експериментально встановлено, що при збільшенні вмісту вольфраму в складі сплаву більш, ніж 11% за масою, в складі карбідів $M_{23}C_6$ його концентрація перевищує концентрацію молібдену (рис. 3,3, в) за лінійною

залежністю, в той же час концентрація хрому зростає в межах з 47,5 до 64,76% за параболічною залежністю:

$$\begin{aligned}C_{W \text{ M}_{23}\text{C}_6}, \% &= 1,1251 \cdot (C_{W \text{ в сплаві}}) - 2,2163; \\C_{\text{Mo M}_{23}\text{C}_6}, \% &= -0,8265 \cdot (C_{W \text{ в сплаві}}) + 20,718; \\C_{\text{Cr M}_{23}\text{C}_6}, \% &= -0,0579 \cdot (C_{W \text{ в сплаві}})^2 + 2,2364(C_{W \text{ в сплаві}}) + 44,512\end{aligned}$$

показали, що вольфрам в складі сплаву помітно впливає на розподіл і концентрацію легувальних елементів в карбідах типу M_6C . Так, при збільшенні вмісту вольфраму в складі сплаву, концентрація його в карбіді збільшується з 53,5 до 63,5%, при цьому знижується концентрація молібдену з 13,2 до 5,7%. Вольфрам практично не впливає на концентрацію хрому, кобальту і нікелю в карбідах типу M_6C , їх концентрація змінюється в межах 1-1,5%.

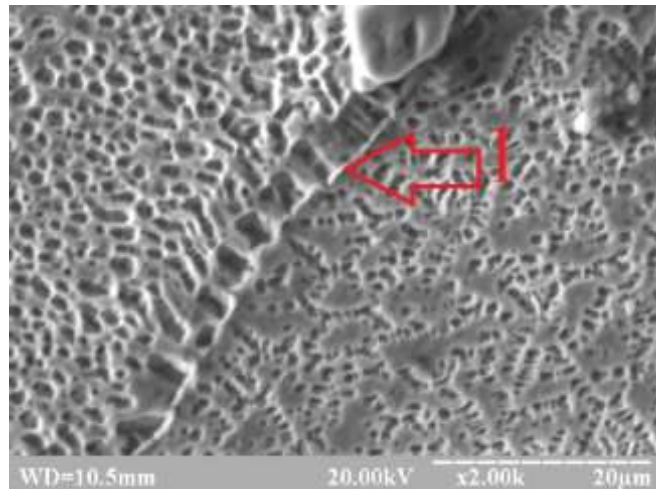
Визначено, що при збільшенні вмісту вольфраму в складі сплаву змінюються концентрації вольфраму і молібдену в складі карбідів M_6C , що оптимально описується наступними лінійними залежностями (рис. 3,3 г):

$$\begin{aligned}C_{W \text{ M}_6\text{C}}, \% &= 1,2313 \cdot (C_{W \text{ в сплаві}}) + 44,088; \\C_{\text{Mo M}_6\text{C}}, \% &= -0,9048 \cdot (C_{W \text{ в сплаві}}) + 20,105\end{aligned}$$

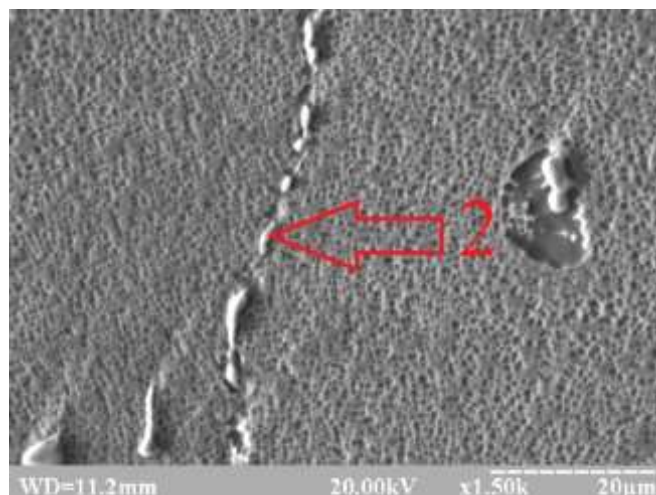
Результати розрахунку фазового складу, отриманих CALPHAD-методом, в подальшому порівнювали з експериментальними даними, отриманими методом електронної мікроскопії в режимі мікрозондування на растровому електронному мікроскопі РЕМ-106І.

На рисунку 3.4 приведено типову морфологію вторинних карбідів, яка найбільш часто зустрічається в структурі сплавів даного класу. Пластинчаста морфологія характерна для карбідів типу M_{23}C_6 , а блокова для карбідів типу M_6C . Орієнтація і така морфологія пов'язана з різницею дифузійного потоку між різними розділами поверхні, отже, карбіди мають тенденцію до зростання

вздовж границі зерна, оскільки коефіцієнт дифузії значно більше на границі, ніж усередині зерна.



а)



б)

а - переривчаста пластинчаста ; б - переривчаста блокова.

Рисунок 3.4 - Морфологія вторинних карбідів в структурі сплаву ЖС6К

Хімічний склад вторинних карбідів визначали експериментально методом РСМА з використанням електронного мікрозонду. Отримані експериментальні дані узгоджуються з результатами термодинамічних розрахунків, отриманих CALPHAD-методом. Так, експериментально було встановлено, що до складу вторинних карбідів входять хром, вольфрам, молібден, нікель і кобальт (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Хімічний склад вторинних карбідів сплаву ЖС6К, розрахований за отриманими залежностями та експериментальним методом РСМА при 20°C

Метод отримання результатів	Вміст елементу, % за масою [ат. %]					
	Cr	W	Mo	Ni	Co	C
1	2	3	4	5	6	7
Розрахунок $M_{23}C_6$	63,42 [59,85]	1,54 [0,41]	18,5 [9,46]	9,44 [7,94]	1,98 [1,65]	5,06 [20,67]
Розрахунок M_6C	14,64 [20,41]	24,82 [9,78]	34,12 [25,78]	22,6 [27,90]	1,46 [1,79]	2,37 [14,3]
Експеримент $M_{23}C_6$ (точка 1 на рис.4,а)	60,17 [57,34]	1,84 [0,49]	20,25 [10,45]	10,56 [9,13]	1,82 [1,53]	5,1 [21,04]
Експеримент M_6C (точка 2 на рис.4,б)	20,15 [26,90]	21,06 [7,95]	33,56 [24,28]	21,3 [25,19]	1,53 [1,80]	2,4 [13,87]

У таблиці 3.1 показано, що розрахункові та експериментальні дані добре узгоджуються між собою, практично за всіма елементами. Відносна похибка між розрахунковими і експериментальними значеннями не перевищує 1%.

Опираючись на отримані експериментальні значення, були розраховані стехіометричні формули для вторинних карбідів, що дало можливість встановити реальний тип і хімічний склад карбідів в структурі дослідженого сплаву. Так, для сплаву ЖС6К формули карбідів з перерахунком масових відсотків у атомні відповідає наступному стехіометричному співвідношенню:

- для карбіду $M_{23}C_6$: $(Cr_{0,73}W_{0,006}Mo_{0,13}Ni_{0,11}Co_{0,019})_{21,05}C_{5,64}$;
- для карбіду M_6C : $(Cr_{0,31}W_{0,092}Mo_{0,28}Ni_{0,29}Co_{0,02})_{6,2}C$.

Виходячи з отриманих формул для карбідів впливає, що сумарне співвідношення металевих елементів і вуглецю не повною мірою відповідає

правилу жорсткого відношення 23:6 та 6:1 відповідно. Спостерігається деяка підвищена сумарна концентрація металевих елементів в цих з'єднаннях.

Таким чином, розрахункові дані, отриманих методом CALPHAD за визначенням типу, розподілом легувальних елементів та хімічним складом вторинних карбідів, показали узгодженість і збіжність з даними, отриманими експериментально методом електронної мікроскопії.

4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

4.1 Аналіз ринку газотурбінних двигунів

Сучасні вимоги до енергетичної галузі України потребують підвищення ефективності газотурбінних двигунів. В даний час, авіаційні моторобудівні заводи і конструкторські бюро широко займаються розробкою і виробництвом як авіаційних газотурбінних двигунів (ГТД), так і стаціонарних енергетичних і газоперекачувальних установок (ГПУ). Однією із основних способів підвищення ефективності ГТД є впровадження нових матеріалів в лопатках ГТД. Використання монокристалічного лиття із спрямованою кристалізацією значно підвищує механічні та експлуатаційні властивості, що в свою чергу підвищує ресурс роботи двигуна та відповідно знижує затрати.

На сьогоднішній день в Україні розробляють і впроваджують газотурбінні двигуни широкого спектра призначення: для авіації, суднобудування, енергетики, механічного приводу на ГТС та деяких підприємствах хімічної промисловості. Основними вітчизняними розробниками й виробниками ГТД є Державне підприємство «Науково-виробничий комплекс газотурбобудування «Зоря» — «Машпроект» у Миколаєві і ДП «Івченко-Прогрес» у Запоріжжі, що працює в кооперації з підприємством ВАТ «Мотор-Січ». Слід також відзначити ВАТ «Турбоатом» (Харків), у якому створено потужні парові турбіни, зокрема для атомної енергетики, проекти сучасних газотурбінних і парогазотурбінних установок для енергетики, і ВАТ «НВО ім. М.В. Фрунзе» (Суми), що розробляє і виробляє ГПА для ГТС.

У ДП «Івченко-Прогрес» і ПАТ «МОТОР СІЧ» виробляють авіаційні двигуни широкої номенклатури, найбільша частина якої припадає на модифікації загальновідомих двигунів AI-20, AI-24, AI-25, Тв3-117, Д36, Д436, Д-18т, які поставляють приблизно у 20 країн світу. ПАТ «МОТОР СІЧ» поки

що залишається основним постачальником вертолітних двигунів для країн СНД, передусім для Росії, що має високорозвинутий газотурбобудівний комплекс. У «Івченко-Прогрес» створено унікальний двигун Д-27, сучасні двигуни AI22, AI-222, розробляють новий двигун Д-28.

У газотурбобудуванні, як у будь-якій наукоємній і високотехнологічній галузі промисловості, створення сучасних ГТД ґрунтується на глибоких наукових дослідженнях і розробках у галузі тер матеріалознавства, технології металів. Викладене визначає актуальність проведених досліджень.

Для реалізації проекту необхідно визначити основні ідеї, які зазначені в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Опис ідеї використання спрямованої кристалізації сплаву ЖС6К для виготовлення лопаток ГТД

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
Збільшення ресурсоефективності двигунів ГТД шляхом використання монокристалічної структури лопаток двигуна першої ступенів	Заміна основних вузлів двигуна на покращенні лопатки	Збільшення моторесурсу двигуну
	Виготовлення елементів для наземних газотурбінних установок	Використання більш економічного парогазового циклу; збільшення моторесурсу.

Для реалізації ідеї із найбільшою для підприємства вигодою, необхідно проаналізувати характеристику потенційного ринку. Дана характеристика представлена у вигляді таблиці 4.2:

Таблиця 4.2 - Попередня характеристика потенційного ринку

№	Показники стану ринку виробництва двигунів ГТД	Характеристика
1	2	3
1	Головні конкуренти ПАТ «МОТОР СІЧ»	ПАТ «ОДК-Климов» - провідний російський розробник газотурбінних двигунів для військової та цивільної авіації. Включає в себе конструкторське бюро, сучасну виробничу та експериментальну бази.
		АТ «ОДК-ПЕРМСЬКІ МОТОРИ» - російський виробник авіадвигунів для цивільної авіації, промислових газотурбінних установок для електростанцій і транспортування газу.
		ВАТ «Сатурн-газові турбіни» - дочірня компанія НВО «Сатурн», створена в листопаді 2006 року. Російська компанія інтегратор і комплексний постачальник енергетичного обладнання.
		Казанське моторобудівне виробниче об'єднання (КМПО) є одним із найбільших в СНГ підприємств авіаційної та машинобудівної промисловості, що діє в Казані. Основний напрямок діяльності - серійне виробництво газотурбінних двигунів (НК-16СТ, НК-16-18ст, НК-38СТ) і обладнання на їх основі
		Пратт і Уїтні-американський виробник газотурбінних авіаційних двигунів. На даний момент Pratt & Whitney є частиною корпорації United Technologies. Крім авіадвигунів, Pratt & Whitney розробляє ГТУ для електростанцій, для локомотивів, ракетні двигуни.

Продовження таблиці 4.2

1	2	3
2	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Кількість авіап перевезень зростає. Двигуни зношуються і потребують більш швидкої заміни на новий. Найбільші авіа моторобудівники не встигають за темпами зросту ринку на фоні постійного оновлення та модернізації.
3	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	1. Складне і коштовне устаткування; 2. Відповідно до цього великий обсяг інвестицій в устаткування та його обслуговування; 3. Складність організації технологічних процесів (складність розробки, введення та використання технології), якість підготовки персоналу; 4. Необхідність високого інтелектуального потенціалу задля якісного (швидкого та точного) використання досягнень НТП у розробці нових двигунів; 5. Високі вимоги до стандартизації та сертифікації як самого виробника так і продукції, яку він виробляє.
4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Ліцензування та сертифікацію експлуатантів здійснює Державна авіаційна служба України (ДАСУ) згідно вимог авіаційних правил України що відповідають міжнародним стандартам.

Для більш точного аналізу необхідно визначити попередні характеристики потенційних груп клієнтів, та сформулювати орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи у таблиці 4.3:

Таблиця 4.3 - Попередня характеристика потенційних клієнтів

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів (користувачів)
1	2	3	4	5
1	Потреба у надійному і економічному цивільному авіаперевезенні	Авіакомпанії (Ukraine Air Alliance, Мотор Січ, Antonov Airlines)	Державні стандарти з авіаперевезення, державні екологічні норми; Цінова політика;	- Висока економічність; - Мінімальне забруднення навколишнього середовища; - Якісне обслуговування після продажу (інформаційне забезпечення з ремонту та експлуатації, своєчасні поставки запчастин та тощо). Надійність двигуну згідно статистичних даних;
2	Потреба в покращенні мобільності збройних сил	ДП «Укроборонпром»	Здатність до стабільної роботи;	Можливість непервної роботи у надзвичайних ситуаціях; Простота ремонту та експлуатації;

Продовження таблиці 4.3

1	2	3	4	5
3	Потреба в стабільному та ефективному отриманні електроенергії у містах та віддалених районах	Енергетична галузь (енергетичні компанії)	Цінова політика; Норми екологічності; Строки поставки;	-Висока автоматизація процесу; - Якісне обслуговування (швидке введення в експлуатацію, профілактичні та ремонтні заходи в будь-якому районі)

Черговим етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (таблиця 4.4) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін. Перелік ринкових можливостей та ринкових загроз складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (результатами за прогнозом) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 4.4 - SWOT- аналіз ПАТ «Мотор Січ»

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
- виробництво двигунів високої якості та відносно невеликої вартості ; - повний цикл створення авіадвигунів, партнерство з КБ «Івченко-Прогрес»; - велика кількість кваліфікованого персоналу;	- недостатня ємність внутрішнього ринку; - велика частина ринку у країнах третього світу; - відсутність контролю над операційною діяльністю з боку іноземних акціонерів;

Продовження таблиці 4.4

Можливості:	Загрози:
- держзамовлення на поставку вертольотів (цивільної та військової авіації); - зростання потреб у авіатехніці; - проникнення на ринок Китаю і країн Південно-Східної Азії; - створення авіадвигунів 5-го покоління протягом декількох років; - високий ступінь зносу авіаційних парків країн СНД (окрім РФ)	- політична та економічна нестабільність; - нестабільність національної валюти; - складність виходу на ринки збуту у інших країнах СНД; - посилення конкуренції на ринку авіадвигунів; - дорожчання імпортової сировини (порошків, пластифікаторів та ін.) та комплектуючих

Розроблення ринкової стратегії проекту.

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

Таблиця 4.5 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Авіакомпанії	Середня	Зростаючий	Висока	Складний
2	Оборонна промисловість	Середня	Зростаючий	Середня	Складний
3	Енергетична промисловість	Низька	Стабільний	Низька	Середня складність
Які цільові групи обрано: ЗСУ та ДСНС (ГТД для вертольотів та літаків), ГТУ для енергетичної промисловості.					

Для аналізу шляхів і проблем розвитку вітчизняного газотурбобудування надзвичайно важливим є й технологічний аспект. Крім впровадження найсучаснішого високопродуктивного технологічного устаткування, особливо велике значення мають роботи зі зменшення витрат на виробництво і ремонт пошкоджених деталей. Для більш детального аналізу необхідно створити карту стейкхолдерів.

Створення карти має відбуватись у 4 етапи:

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



Рисунок 4.1 - Карта стейкхолдерів

4.2 Техніко-економічні розрахунки

Основна заробітна плата (ЗО) основних виробничих робітників на одиницю виробу розраховується на основі трудомісткості виготовлення та часових тарифних ставок.

Основна заробітна плата основних виробничих робітників на одиницю виробу розраховується на основі трудомісткості виготовлення та часових тарифних ставок. Розрахунок основної заробітної плати на одиницю продукції наведений в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 - Склад, чисельність та фонд заробітної плати виробничих працівників

Категорії працівників	Наявна чисельність, осіб		Тарифна ставка за розрядом виконуваних робіт, грн / годину	Ефективний фонд робочого часу, годин	Тарифний заробіток, грн.	Преміальний відсоток до тарифного заробітку	Розмір премії, грн.	Річний фонд заробітної плати, грн.	ЄСВ, грн
	за зміну	на добу							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<u>1.Основні працівники</u>									
Терміст	1	3	90	8	10800	15	1600	178560	39036
Інженер-технолог (металург)	1	1	100	8	17600	20	3500	198400	59520

Продовження таблиці 4.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Майстер	1	3	80	8	12800	10	1280	153600	33792
<u>2. Допоміжні</u> <u>працівники</u> Контролер ВТК	1	3	50	8	8800	10	880	105600	23232
<u>3. Черговий</u> <u>та</u> <u>ремонтний</u> <u>персонал</u> Електрик	1	3	80	8	12800	10	1280	153600	33792
Механік	1	3	80	8	12800	10	1280	153600	33792
Разом виробничих працівників		17							

Таким чином річний фонд заробітної плати всіх виробничих працівників складає 2478280 грн.

Таблиця 4.7 - Склад, чисельність та фонд заробітної плати адмінперсоналу (наукових робітників)

Посада	Кількість осіб	Посадовий оклад, грн	Преміальний відсоток до окладу, %	Сума премії грн	Місячна заробітна платя, грн	Річний фонд оплати праці, грн	ЄСВ, грн
1	2	3	4	5	6	7	8
Старший науковий співробітник	1	5600	30	1650	7250	87000	19140
Лаборант	1	4850	30	1455	6305	75660	16645
Разом персоналу	2					162660	35785

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

Таблиця 4.8 – Витрати на сировину

Матеріальні витрати	Норматив у розрахунку, %	Обсяг сировини, кг	Ціна, грн/кг	Сума грн
1	2	3	4	5
Fe	1,76	63,4	3,3	209,2
C	0,16	5,8	7,6	44,1
Si	0,3	10,8	42	453,6

Продовження таблиці 4.8

1	2	3	4	5
Mn	0,3	10,8	40,5	437,4
Ni	65,4	2354,4	121,8	286765,9
Cr	10,5	378,0	201,2	76053,6
Mo	4,0	144	512,6	73814,4
W	4,75	171	544,9	93177,9
Co	4,15	149,4	581,5	86876,1
Ti	3,175	114,3	63,5	7 258,1
Al	5	180	67,7	12186,0
Zr	0,03	1,08	101,2	109,3
B	0,015	0,54	105,0	56,7
Загальна сума	100	3600	-	648 524,42

Отже, загальні витрати на виробництво річної кількості лопаток, а саме 10 000 лопаток складають 648524,42 грн, тобто 65 гривень за одну лопатку.

Розрахунок витрати електроенергії. Основними споживачами електроенергії є соляна ванна та відпускна піч. Соляна ванна протягом всього періоду роботи споживає 68 кВт·год. Відпускна піч для здійснення одного відпуску потребує 15 кВт·год. електроенергії. Технологією передбачено здійснення трьох відпусків тому сумарне споживання електроенергії становить 143 кВт·год. Вартість сировини та основних матеріалів наведена в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Розрахунок вартості спожитих послуг

Вид послуг	Норматив у розрахунку на один. продук. (послуг)	Виробнича програма	Тарифи	Сума грн
1	2	3	4	5
Електропостачання	33,49	10 000	2,356	334900
Водопостачання	3,21	10 000	54,888	32100
Теплопостачання	5,76	10 000	34,56	57600
Газопостачання	7,25	10 000	-	72500
Разом	49,72	-	-	497100

Адміністративні витрати вміщують витрати, пов'язані з утриманням адміністративно – управлінського персоналу підприємства, а також утриманням та експлуатацією основних засобів загального виробничого призначення, охорону праці та техніку безпеки персоналу та інші.

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

Таблиця 4.10 - Розрахунок амортизації

Група основних засобів	Норма амортизації, %	Первісна вартість ОЗ тис.грн	Надійшло ОЗ, тис. грн.	Вибуло ОЗ тис. грн.	Сума А, тис. грн.
1	2	3	4	5	6
Будівлі	2	23 667	-	-	473,3
Споруди	3	7 560	-	-	226,8
Передавальні пристрої	5	5 540	230	250	276,0
Машини та обладнання	8	93 720	1200	5810	7128,8
Інструменти, прилади, меблі, інвентар	10	2 250	150	-	240,0
Інші основні засоби	10	275	25	-	30,0
Інвентарна тара	20	500	120	100	104,0
Предмети прокату	10	1 280	120	200	120,0
Разом	-	134 792	1 845	6 360	8598,9

Таким чином загальна амортизація складає 8598,9грн.

Амортизація, яку можна віднести на виробництво лопаток відповідно становить 8598,9грн, або 8,4 грн на одну лопатку.

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

Таблиця 4.11- Кошторис витрат

Калькуляційні статті	Витрати	
	у розрахунку на одиницю продукції, грн.	у розрахунку на весь обсяг продукції, грн.
Сировина та матеріали	55,49	998550,00
Електропостачання	33,49	334900
Водопостачання	3,21	32100
Теплопостачання	5,76	57600
Газопостачання	7,25	72500
Разом	105,2	11495650
Заробітна плата основних виробничих працівників	247,828	2478280
ЄСВ	29,7	297393,6
Амортизація	47,77	859890,00
Витрати на утримання та експлуатацію основних засобів поточний ремонт	14,98	269584,00
Загальновиробничі витрати	15,56	280072,10
Виробнича собівартість	250,4	4507200
Адміністративні витрати	42,17	759080,20
Інші витрати	2,11	37980,00
Повна собівартість	294,68	5304 240

Таким чином повна собівартість лопаток 294,68 грн.

Очікувана ціна монокристалізованої лопатки складає 325 грн/шт.

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

Визначаємо очікуваний дохід та фінансовий результат.

Таблиця 4.12 - Розрахунок фінансового результату

№ періоду	Обсяги виробництва	Обсяги реалізації	Залишок нерелізованої	Ціна	Витрати	Дохід	Фінансовий результат
1	3500	3200	-300	325	294,68	1137500	+194524
2	1200	1200	0	325	294,68	390000	+36384
3	2300	2500	+200	325	294,68	812500	+ 134736
4	3000	3100	+100	325	294,68	975000	+ 61492
Σ	10000	10000	0	-	-	3315000	+ 427136

Таким чином, очікуваний дохід від реалізації лопаток становить 3315000 гривень. Очікуваний фінансовий результат становить 427136 гривень.

При реалізації проекту по впровадженню лопаток із монокристалічною структурою виготовленою методом спрямованого лиття очікуваний прибуток складає 427136, що в свою чергу підтверджує актуальність та доцільність проведення даних наукових досліджень.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі дипломної роботи надані основні заходи з охорони праці при дослідженні жароміцних нікелевих сплавів.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

а) небезпеки, які пов'язані спорушеннями роботодавцями вимог НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» [25];

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

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

г) небезпеки, пов'язані з дослідженнями структури за допомогою електронної мікроскопії зокрема: негативний вплив потужного електронного випромінювання на клітинному рівні, що може призвести до зниження імунітету та розвитку імунних захворювань;

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

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

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

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

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

5.2 Заходи по забезпеченню безпеки

а) Згідно вимог НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимог стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» [25] передбачено:

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

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

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

Шляхи пересування в робочій зоні включаючи сходи, стаціонарні переходи, аварійні виходи повинні бути позначенні відповідними знаками,

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

Виробниче приміщення повинні мати достатню площу і висоту для раціонального планування відповідно до СНиП 2.09.04-87 «Административные и бытовые здания» [26] та СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания» [27].

б) Для виключення можливості ураження електричним струмом згідно з ПУЭ-2017 «Правила устройства электроустановок» [28] передбачається:

- Всі співробітники лабораторії повинні пройти навчання та перевірку знань з електробезпеки та у відповідності з НПАОП.0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» отримати 2-3 групу з електробезпеки. Періодично один раз на рік необхідно перевіряти опір заземлення, який не повинен перевищувати 4 Ом. Якість заземлення перевіряється щорічно з оформленням акту відповідно нормативних вимог ГОСТ 12.1.019-79 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» [28].

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

- Усі ремонтні роботи на мікроскопі проводять тільки після повного відключення від електричної мережі. При зміні катоду після розкриття

електронної гармати перед тим, як доторкнутися рукою до фокусуючого електроду, треба зняти заряд з катодного вугла шляхом його заземлення.

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

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

в) Організація робочого місця передбачає: Конструкція робочого місця, його розміри та взаємне розташування його елементів повинні відповідати антропометричним, фізіологічним і психофізіологічним характеристикам людини, а також робоче місце забезпечує зручне положення людини. Це досягається регулюванням положення крісла, висоти кута нахилу підставки для ніг за умови її використання, або висоти розмірів робочої поверхні.

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

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

Ті предмети, якими користуються частіше, розташовуються ближче, ніж ті предмети, котрими користуються рідше. Предмети, котрі беруть лівою рукою, повинні знаходитись зліва, а ті предмети, котрі беруть правою рукою,

повинні знаходитись справа. Якщо використовують обидві руки, то місце розташування пристосувань вибирається з врахуванням зручності захоплення його двома руками; Небезпечніше, з точки зору можливості травмування працівника обладнанням повинне розташовуватись вище, ніж менш небезпечні. Проте слід враховувати, що важкі предмети під час роботи зручніше і легше опускати, ніж піднімати.

г) Для електронного мікроскопа можливі три варіанти аварійної ситуації:

- відключення електроживлення;
- відключення води;
- прорив повітря в вакуумну систему.

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

Необхідно тільки простежити, щоб форвакуумний насос не працював «на повітря», а переключити його на закритий обсяг, наприклад на відкачку боксу з фотопластинками.

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

Електронний мікроскоп, має потужне джерело іонізуючих випромінювань, що як наслідок негативно впливає на організм людини при зовнішньому опромінюванні. Зовнішнє опромінення — це дія на організм

іонізуючих випромінювань від зовнішніх відносно нього джерел випромінювання. Під дією іонізуючих випромінювань в організмі людини відбувається іонізація молекул і атомів тканини, порушується хімічна структура сполук, утворюються сполуки, не властиві живій клітині, що в свою чергу призводить до її відмирання. Зміни фізичних і біологічних процесів в організмі залежно від дози опромінювання. Для попередження шкідливої дії іонізуючих випромінювань необхідно усувати всяку можливість опромінювання організму дозами, які перевищують гранично допустимі. Ступінь ураження радіоактивними речовинами організму людини залежить від ряду чинників: виду випромінювання (альфа-, бета-, гамма-промені тощо); кількості ізотопу (активності); його властивостей (енергії частинок в період піврозпаду тощо); шляхів попадання в організм людини та його індивідуальної чутливості. Для захисту від зовнішнього опромінювання, яке має місце при роботі із закритими 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)

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

д) Для забезпечення нормально метеорологічних умов праці передбачена вентиляція що являє собою систему технічних засобів, що забезпечує регулярний повітрообмін в приміщенні. Вона призначена для видалення з приміщення надлишкового тепла, вологи, шкідливих газів і парів та створення найбільш сприятливого (що відповідає санітарно-гігієнічним вимогам) мікро-клімату та іонного складу(згідно ГОСТ 12.1.005-88.) [29].

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

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

У приміщенні лабораторії встановлюється кондиціонер для необхідного кондиціювання повітря, а також у приміщенні повинні бути вікна у яких повинні бути частини що відчиняють для природної аерації. (ГОСТ 30646-99 Кондиціонери центральні загального призначення.) [30].

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

За характером трудової діяльності виділено три професійні групи, згідно з діючим класифікатором професій (ДК-003-95 і зміна N I до ДК-003-95): група А – робота зі зчитування інформації з екрана з попереднім запитом; група Б – робота з введення інформації; група В – творча робота в режимі діалогу із ПК [31].

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

- для першої категорії робіт – через 2 години від початку зміни й через 2 години після обідньої перерви тривалістю 15 хвилин кожна;

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

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

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

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

Ефективними є нерегламентовані перерви (мікропаузи) тривалістю 1-3 хвилини. Регламентовані перерви й мікропаузи доцільно використовувати для виконання комплексу вправ і гімнастики для очей, пальців рук, а також масажу, які наведені у Державних санітарних правилах і нормах роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПІНЗ.3.2.007-98 [32].

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

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

ж) Для забезпечення задовільних параметрів повітряного середовища необхідно використовувати природну вентиляцію, загальну штучну та систему водяного опалення згідно ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические нормы к воздуху рабочей зоны», [33] ГОСТ 2.2.137-96

«Оборудование для кондиционирования воздуха и вентиляции. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.4.021-75 «ССБТ. Системы вентиляционные. Общие требования». СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [34].

з) Для забезпечення задовільного освітлення робочої зони на ділянках цеху передбаченого ДБН, В.2.5.-28-2006 «Природне і штучне освітлення» [35] ГОСТ 12.2.007.13-2000 ССБТ «Лампы электрические. Требования безопасности» [36], приймаємо ДРЛ в світильники, передбачено використання загального штучного освітлення в комбінації з прийнятими джерелами освітлення.

Далі проведено розрахунок системи штучного освітлення. Для нормалізації освітлення робочої зони на ділянках цеху передбачена система загального штучного освітлення. Для задовільного освітлення робочої зони на ділянках цеху, виконано розрахунок загальної системи освітлення.

Основним розрахунковим рівнянням методу світлового потоку:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot z}{N \cdot n \cdot r}, \text{ ЛК} \quad \Phi_{\Sigma} = 300 \cdot 1152 \cdot 1,6 \cdot 1,15 / 10,7$$

Приміщення з незначним кислом виділенням $r_c=50\%$; $r_{ст}=30\%$; $r_n=10\%$

- розрахувати кількість рядів світильників у приміщенні: $A=48\text{м}$; $B=24\text{м}$, $E_n=300\text{лк}$

Світильник РПП 125Вт; $L/h=1,4$; $k_3=1,6$; $z=1,15$

$$N_p = B / (H - h_p) \cdot [L/h]$$

$$N_p = 24 / (5 - 0,8) \cdot [1,4] = 5 \text{ рядів}$$

- визначити максимально допустиму відстань, між рядами світильників:

$$L_{\max} = B/Np; \text{ м}$$

$$L_{\max} = 24/5 = 4,8\text{м}$$

- знайти висоту зависання світильників від стелі:

$$h = L_{\max} / [L/n] = 4.8/1.4 = 3.4\text{м}$$

г) знайти висоту зависання світильника від стелі

$$h_3 = H - h_p - h, \text{ м}$$

$$h_3 = 5 - 0,8 - 3,4 = 0,8\text{м}$$

$$i = A \cdot B / h(A+B)$$

$$i = 48 \cdot 24 / 3,4(24+48) = 4,71\text{м}$$

$$\Phi_{\text{Л}} = 300 \cdot 1152 \cdot 1,6 \cdot 1,15 / 0,68 = 935152,24 \text{ лк}$$

- визначити умовно загальну кількість світильників у приміщенні:

$$N^* = A \cdot B / L^2_{\max}$$

$$N^* = 1152 / 4,8^2 = 50$$

$$\Phi_{\text{Л}} = 935152,24 / 50 = 18703\text{лк}$$

$$N_{\text{Л}} = N^* \cdot n$$

$$N_{\text{Л}} = 50 \cdot 1 = 50$$

$$\Phi_{\text{Л}} = 300 \cdot 1152 \cdot 1,6 \cdot 1,15 / 0,68 \cdot 1 \cdot 50 = 18703 \text{ лк}$$

Кількість світильників у виробничому приміщенні складає 50 приладів освітлення.

5.4 Заходи безпеки надзвичайних ситуацій

Підрозділ «Заходи з пожежної безпеки» розробляється відповідно до вимог НАПБ.А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» [37]. Розгляд підрозділу слід почати з аналізу речовин і матеріалів, що використовуються при роботі об'єкта, і метою визначення категорії його пожежної небезпеки, відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» [38] та СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания» Тобто вказати до якої категорії виробництва з пожежної небезпеки (А, Б, В, Г, Д) належить об'єкт (цех, дільниця, підстанція) що розглядається (проектується, модернізується). Відповідно до категорії виробництва з пожежної небезпеки і вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва». Загальні вимоги, вказати ступінь вогнестійкості приміщення об'єкта (цеху, дільниці, підстанції). Показати наявність засобів виявлення загорянь і пожеж згідно вимог ДБН В 2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту» [39]. З огляду на пожежну небезпеку, передбачити первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники різних видів), відповідно до вимог ДСТУ 4297:2004 «Пожежна техніка. Технічне обслуговування вогнегасників. Загальні технічні вимоги», розділ «Типові норми належності вогнегасників». Виробничі приміщення можуть бути обладнані стаціонарними установками автоматичного пожежогасіння.

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

матеріалів які використовуються при роботі у приміщенні відповідно до вимог ДСТУ Б В. 1.1-36.2016 «Визначення категорій приміщень будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» приміщення (офіс) обладнане ВДТ належить до виробництв категорії «Д» з пожежної небезпеки – простір у приміщенні у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали.

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

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

Згідно вимог ДБН В 2.5-56.2014 «Системи протипожежного захисту» в приміщенні (лабораторії, офісі) обладнаному ПК з ВДТ встановлена система пожежної й охоронної сигналізації «Сигнал-ВК6». Яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика.

Оскільки приміщення що обладнане ПК з ВДТ має площу 39м², тому відповідно до вимог п 3.8 розділу «Типові норми належності вогнегасників» ДСТУ 4297:2004 «Пожежна техніка. Технічне обслуговування вогнегасників [40].

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

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

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

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

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

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

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

Превентивні:

- аналізування і виявлення причин, що ведуть до катастрофи;
- прогнозування вогнищ ураження, втрат і збитків на підприємстві;
- заходи з підвищення стійкості;
- обґрунтування сил і засобів для проведення дій з локалізації вогнищ ураження та пошуково-рятувальних робіт;

- навчання робітників способам захисту;
- підготовка надійного КП управління.

Оперативні:

- оповіщення про НС;
- проведення всіх видів дослідження та оцінки обстановки;
- проведення першочергових захисних заходів (укриття в ЗС. евакуація.
- використання сил постійної готовності для локалізації катастрофи;
- надання першої медичної та першої лікарняної допомоги;
- нарощування сил і засобів в ОП за рахунок залучення формувань підвищеної готовності;
- якнайшвидше постачання постраждалих продовольством та іншими життєво необхідними засобами;
- введення аварійно-відновлювальних заходів.

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

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

2. Стадія оволодіння ситуацією та організації управління в зоні лиха, складається у плануванні та організації рятувальної операції. Задача: якнайкраще у всіх деталях дослідити обстановку, першочергово прийняти обґрунтоване рішення і скласти план ліквідації наслідків НС; підрахувати сили і засоби, ресурси для всього комплексу заходів в зоні лиха, організувати чітку

взаємодію всіх залучених сил і аварійних служб. Тривалість другої стадії - від декількох годин до кількох діб.

3. Основна і визначальна стадія. Ціль - змінити надзвичайний характер ситуації: відновити безпеку населення в зоні лиха, прибрати загрозу життю і здоров'ю всім постраждалим, створити мінімальні умови для життєдіяльності населення, що залишилося. Завдання: організувати в найкоротші строки рятувальних робіт на всіх постраждалих об'єктах зони лиха, надання допомоги потерпілим для захисту їх життя, здоров'я і підтримання життєздатності в екстремальних умовах; евакуація постраждалих із зони лиха та їх життєзабезпечення; терміновому проведенні аварійно-відновлювальних робіт на системах тепло-, водо-, газо-, електросистемах і зв'язку в зоні лиха. Тривалість - кілька діб - кілька тижнів.

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

ВИСНОВКИ

Було розглянуто умови експлуатації деталей газотурбінних двигунів, зазначено вплив легувальних елементів на механічні та експлуатаційні властивості, особливості спрямованої кристалізації та структура жароміцних нікелевих сплавів. На основі комплексного підходу для багатокomпонентних ЖНС отримані нові регресійні моделі, які дозволяють адекватно здійснювати прогнозувальні розрахунки хімічного складу вторинних карбідів на основі хімічного складу сплаву. Визначено залежності впливу легувальних елементів на температури розчинення (виділення) вторинних карбідів у структурі сплаву системи Ni-10Cr-4,5Co-5,5Al-2,5Ti-5W- 4Mo-1Nb-0,18C. Встановлено, що з підвищенням сумарного вмісту карбідоутворювальних елементів в складі сплаву, ускладнюється хімічний склад вторинних карбідів. Так, при збільшенні вмісту хрому в сплаві, карбід $M_{23}C_6$ поступово перетворюється в монокарбід на основі хрому. Однак, при вмісті більше 15% хрому в сплаві підвищується ймовірність виділення ТЩУ фаз типу Р- і σ -. Вміст молібдену більше 3% за масою в сплаві призводить до утворення в структурі ТЩУ фази типу Р-, а зі збільшенням вмісту молібдену до 8% утворюються монокарбіди на його основі. При вмісті вольфраму в складі сплаву більше 11% за масою помітно підвищується ймовірність виділення в структурі Р- фази, яка близька за хімічним складом до карбіду M_6C , який має також близьку за параметрами орторомбічну кристалічну ґратку, що може негативно впливати на характеристики міцності. Проведено порівняльну оцінку розрахункових результатів, отриманих CALPHAD-методом з експериментальними даними, отриманими методом РСМА. Отримані результати за визначенням типу і хімічного складу вторинних карбідів узгоджуються між собою. Моделювання термодинамічних процесів дозволило реалізувати важливу матеріалознавчу задачу в розрахунковому прогнозуванні складу вторинних карбідів за

хімічним складом досліджуваного сплаву, що підтверджено результатами експерименту.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кишкин С. Т., Строганов Г. Б., Логунов А. В. Литейные жаропрочные сплавы на никелевой основе. М.: Машиностроение. 1987.
2. Симс Ч., Хагел В. Жаропрочные сплавы : учеб. пособие. пер. с англ. Е. М. Савицкого. Москва : Металлургия, 1976. 568 с.
3. Химушин Ф. Ф. Жаропрочные стали и сплавы : монография. Москва. Металлургия, 1964. 672 с.
4. Сазонова О.В., Грешта В. Л. Конспект лекцій з дисципліни «Функціональне призначення матеріалів газотурбінних установок в енергетиці» для студентів спеціальності 8.090101 «Прикладне матеріалознавство» усіх форм навчання : конспект лекцій. Запоріжжя : ЗНТУ, 2003. 64 с.
5. Масленков С. Б., Масленкова Е. Л. Стали и сплавы для высоких температур : в 2-х т. Москва : Металлургия, 1991. 832 с.
6. Современные технологии в производстве газотурбинных двигателей. под ред. А.Г. Братухина. Москва: Машиностроение, 1997. 416с.
7. Масленков С. Б. Жаропрочные стали и сплавы : справочник. Москва. Металлургия, 1983. 192 с.
8. Литые лопатки газотурбинных двигателей: сплавы, технологии, покрытия. под общ. ред. Е. Н. Каблова. 2-е изд. Москва: Наука, 2006. 632 с.
9. Каблов Е. Н., Голубовский Е. Р. Жаропрочность никелевых сплавов: учеб. пособ. Москва: Машиностроение, 1998. 464 с.
10. Каблов Е. Н., Петрушин Н. В., Елютин Е. С. Монокристаллические жаропрочные сплавы для газотурбинных двигателей. *Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана, серия «Машиностроение»*. 2011. № 52. С. 38-52.
11. Каблов Е. Н., Петрушин Н. В., Светлов И. Л., Демонис И. М. Литейные жаропрочные никелевые сплавы для перспективных авиационных ГТД. *Технология легких сплавов*. 2007. № 2. С. 6-16.

12. Петрушин Н. В., Светлов И. Л., Оспенникова О. Г. Литейные жаропрочные никелевые сплавы. *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2012. № 6. С. 16-21.

13. Литейные жаропрочные сплавы. Эффект С. Т. Кишкина: науч. техн. сб. под ред. Е. Н. Каблова. Москва: Наука, 2006. 272 с.

14. Ажажа В. М., Свердлов В. Я., Ладыгин А. Н., Богуслаев А. В. Перспективные направления в совершенствовании структуры монокристаллических лопаток газотурбинных двигателей. *Прогресивні технології і системи машинобудування*. 2008. № 2. С. 3-9.

15. Козлов Э. В., Дементьев В. М., Кормин Н. М. Структуры и стабильность упорядоченных фаз: учеб. пособ. Томск: Изд-во ТГУ, 1994. 247 с.

16. Никитин В. И. Коррозия и защита лопаток газовых турбин. Л.: Машиностроение. 1987. Т. 272. С. 2.

17. Розенфельд И. Л. Коррозия и защита металлов: Локальные коррозионные процессы. Металлургия, 1969.

18. Ножницкий Ю. А., Голубовский Е. Р. Монокристаллические рабочие лопатки высокотемпературных турбин перспективных ГТД. *Авиационно-космическая техника и технология*. 2006. № 9. С. 117–123.

19. Шалин Р.Е., Светлов И.Л., Качанов Е.Б. Монокристаллы никелевых жаропрочных сплавов М.: Машиностроение, 1997. - 336 с.

20. Левин Е.Е. Перспективные материалы для основных деталей газовых турбин. Энергомашиностроение. 1975. № 12. С. 10-13.

21. Гецов Л.Б. Детали газовых турбин. Л.: Машиностроение, 1982 – 296 с.

22. Декер Р. Металловедение сплавов на никелевой основе. Жаропрочные сплавы. М.: Металлургия, 1976. - 568 с.

23. ОСТ 1 90126-85 Сплавы жаропрочные литейные вакуумной выплавки

24.

25. Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників: НПАОП 0.00-7.11-12. На заміну наказу МНС України від 26.12.2011 № 1350; чинний від 2012-03-16. К.: МНС України, 2012. 116 с. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0226-12>. (Нормативно-правовий акт охорони праці).

26. СНиП 2.09.04-87 «Административные и бытовые здания».

27. СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания».

28. Правила улаштування електроустановок: ПУЕ-2017. На заміну ПУЕ-86; чинний з 2017-08-21. К.: Міненерговугілля України, 2017. 617 с. (Правила).

29. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

30. ГОСТ 30646-99 Кондиціонери центральні загального призначення.

31. Державний класифікатор України. Класифікатор професій ДК 003-95 (україномовний варіант).

32. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин: ДСанПіН 3.3.2.007-98. Чинний від 1998-12-10. К.: МОЗ України, 1998. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=2445>. (Державні санітарні правила та норми)

33. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень: ДСН 3.3.6.042-99. Чинний від 1999-12-01. К.: МОЗ України, 1999. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>. (Державні санітарні норми).

34. Природне і штучне освітлення: ДБН В.2.5-28-2018. На заміну ДБН В.2.5-28-2006; чинний з 2019-03-01. К.: Мінрегіон України, 2018. 133 с. (Державні будівельні норми України).

35. ГОСТ 12.2.007.13-2000 ССБТ «Лампы электрические. Требования безопасности».

36. Правила пожежної безпеки в Україні' НАПБ А.01.001-14. На заміну НАПБ А.01.001-04; чинний від 2014-12-30. К.: МВС України, 2014. 47 с. (Нормативний акт пожежної безпеки).

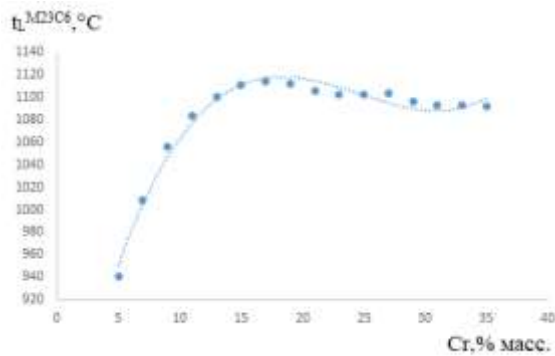
37. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою: ДСТУ Б В.1.1-36:2016. На заміну НАПБ Б.03.002-2007; чинний від 2017-01-01. К.: Мінрегіонбуд України, 2016. 66 с. (Національний стандарт України).

38. Системи протипожежного захисту : ДБН В.2.5-56:2014. На заміну ДБН В.2.5-56:2010; СНиП 2.04.05-91 (розділи 5 та 22); чинний від 2015-07-01. К.: Мінрегіон України, 2014. 191 с. (Державні будівельні норми).

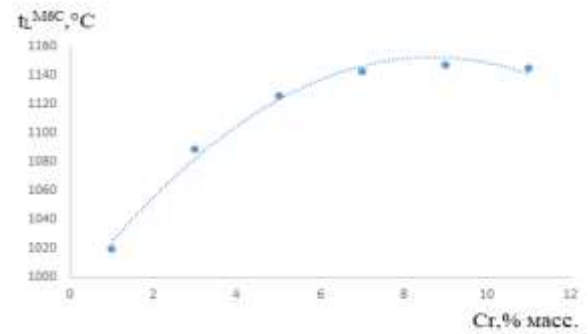
39. Протипожежний захист. Знаки безпеки. Форма та колір; ДСТУ ISO 6309:2007. На заміну ГОСТ 12.4.026-76 в частині пунктів 1.1, 1.2, 1.4, 1.6 таблиці 5, пунктів 2.1, 2.2 таблиці 6, пунктів 4.1-4.11 таблиці 8; знаків 1.1, 1.2, 1.4, 1.6, 2.1, 2.2, 4.1-4.11 додатка 3; чинний від 2007-10-01. К.: Держспоживстандарт України, 2007. 9 с. (Державний Стандарт України).

40. ДСТУ 4297:2004 «Пожежна техніка. Технічне обслуговування вогнегасників.

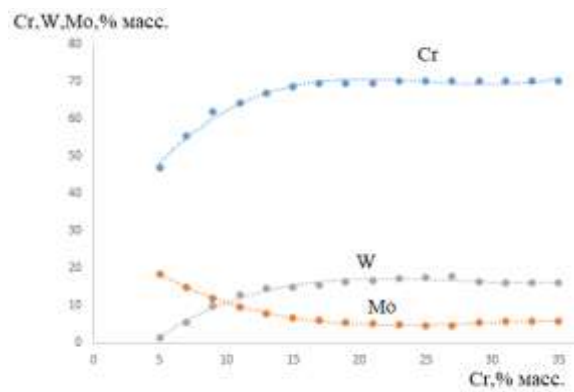
ДОДАТОК А



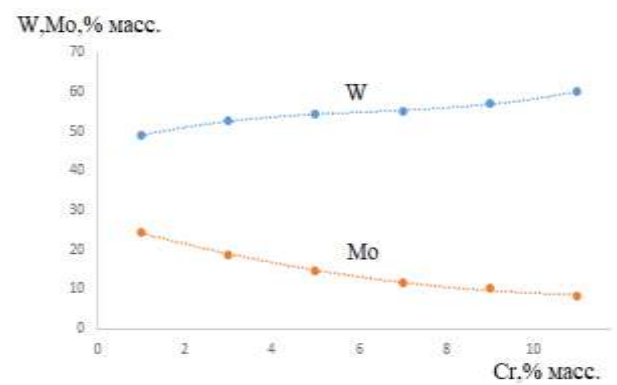
а



б

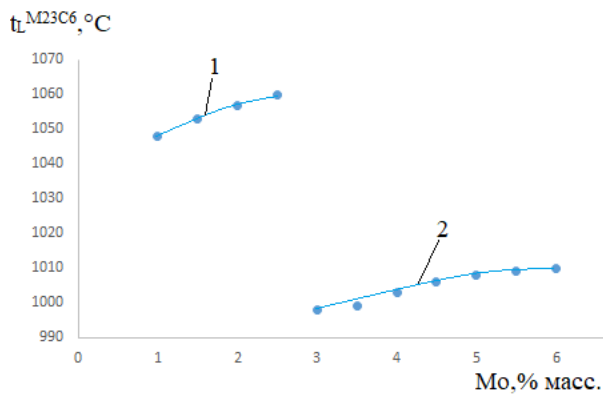


в

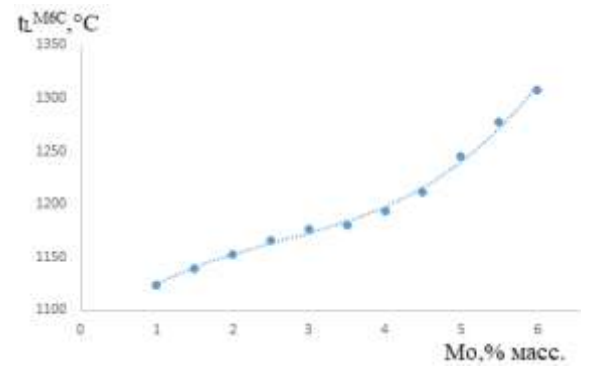


г

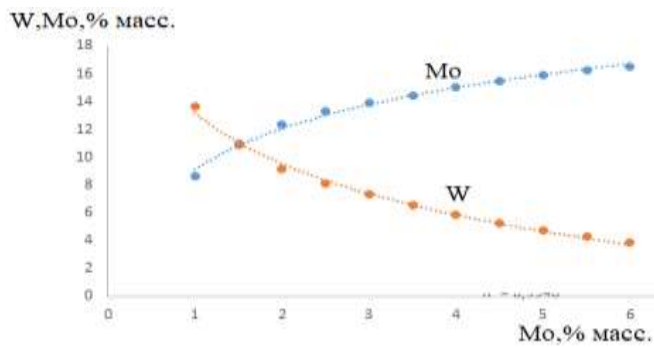
Рисунок А.1 - Температурні залежності розчинення (виділення) карбідів типу $M_{23}C_6$ (а), M_6C (б); кількість Cr, W і Mo в карбіді $M_{23}C_6$ (в); кількість W і Mo в карбіді M_6C (г) від вмісту Cr в складі сплаву



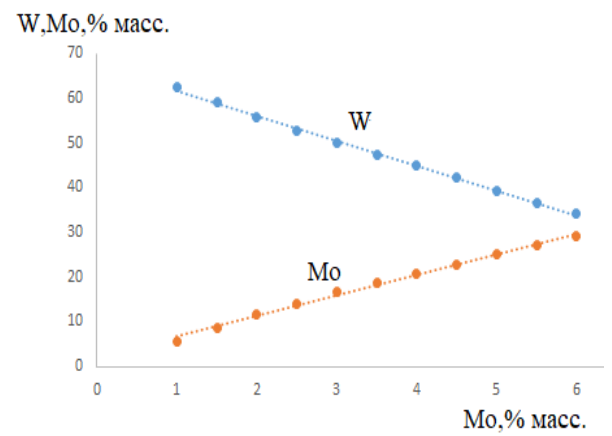
а



б

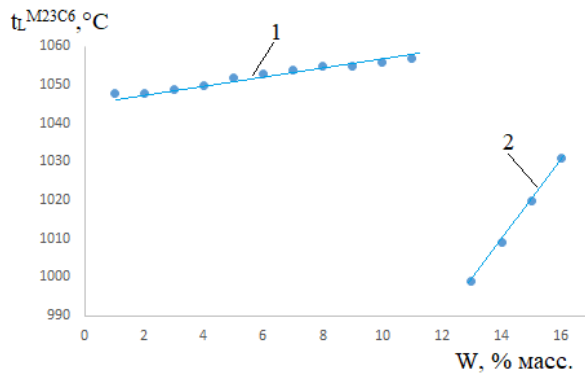


в

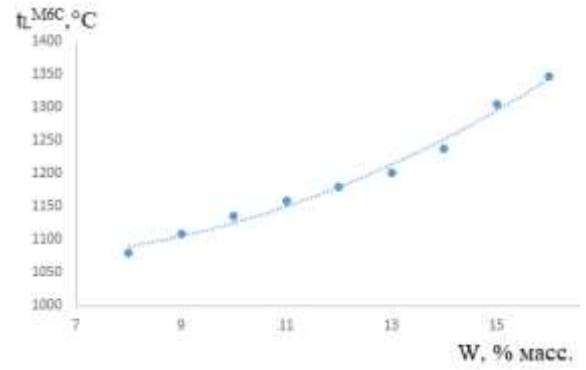


г

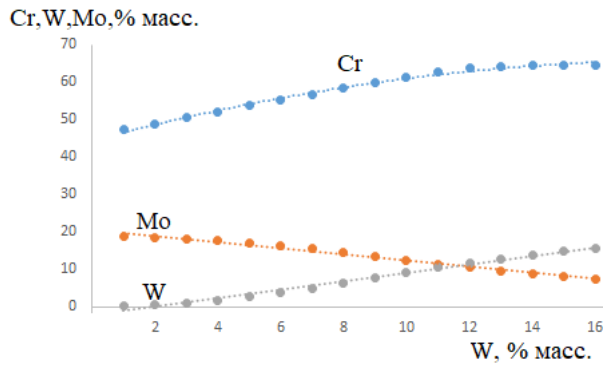
Рисунок А.2 - Температурна залежність розчину карбідів типу $M_{23}C_6$ (а); M_6C (б) від кількості вольфраму і молібдену в складі карбиду $M_{23}C_6$ (в) ; вольфраму і молібдену в складі карбиду M_6C (г) від вмісту молибдену в складі сплаву,



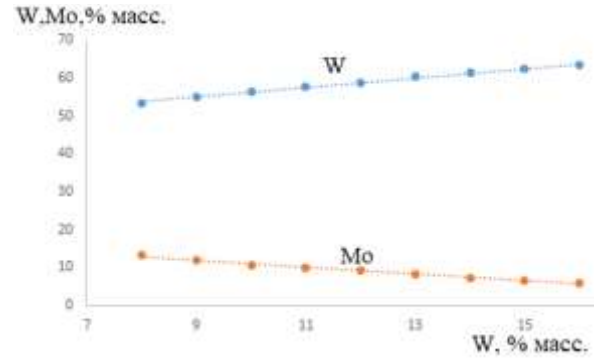
а



б

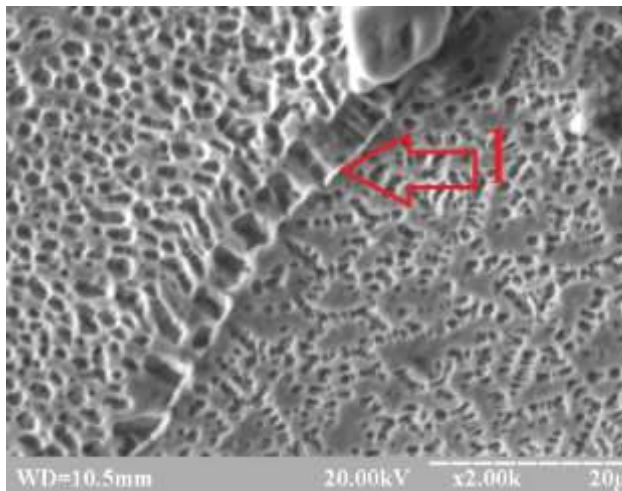


в

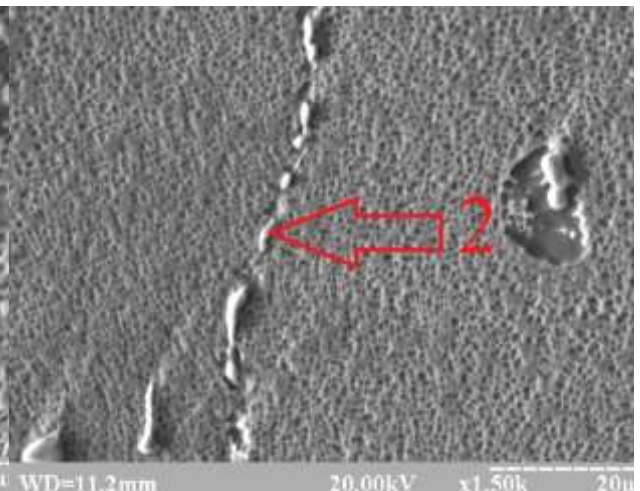


г

Рисунок А.3 - Температурні залежності розчинення карбідів типу $M_{23}C_6$ (а); M_6C (б) від кількості хрому, вольфраму і молібдену в карбіді $M_{23}C_6$ (в); вольфраму і молібдену в карбіді M_6C (г) від вмісту вольфраму в складі сплаву



а



б

а - переривчаста пластинчаста ; б - переривчаста блокова .

Рисунок А.4 - Морфологія вторинних карбідів в структурі сплаву ЖС6К

Таблиця А.1 – Хімічний склад вторинних карбідів сплаву ЖС6К, розрахований за отриманими залежностями та експериментальним методом РСМА при 20°C

Метод отримання результатів	Вміст елементу, % за масою [ат. %]					
	Cr	W	Mo	Ni	Co	C
1	2	3	4	5	6	7
Розрахунок $M_{23}C_6$	63,42 [59,85]	1,54 [0,41]	18,5 [9,46]	9,44 [7,94]	1,98 [1,65]	5,06 [20,67]
Розрахунок M_6C	14,64 [20,41]	24,82 [9,78]	34,12 [25,78]	22,6 [27,90]	1,46 [1,79]	2,37 [14,3]
Експеримент $M_{23}C_6$ (точка 1 на рис.4,а)	60,17 [57,34]	1,84 [0,49]	20,25 [10,45]	10,56 [9,13]	1,82 [1,53]	5,1 [21,04]
Експеримент M_6C (точка 2 на рис.4,б)	20,15 [26,90]	21,06 [7,95]	33,56 [24,28]	21,3 [25,19]	1,53 [1,80]	2,4 [13,87]