

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет
(повне найменування інституту, факультету)

кафедра фізичного-матеріалознавства
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістра
(ступінь вищої освіти)

на тему Дослідження впливу навантаження на
структурну стабільність стержня
ЗМЗ - ЗУ після прикладеного поперемінного впливу

Виконав: студент(ка) V курсу, групи УФЗ-284

Спеціальності 132 - Матеріалознавство
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Бабко А. В.
(прізвище та ініціали)

Керівник Гайдук С. В.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Соліков Е. Г.
(прізвище та ініціали)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

РЕФЕРАТ

ПЗ:71 стр., 6 рис., 40 джерел.

Мета роботи – дослідження впливу танталу на структурну стабільність багатокomпонентних систем легування жароміцних нікелевих сплавів та схильність їх до утворення шкідливих топологічно щільнопакованих (ТЩП) фаз.

В дипломному проекті розглянуто і проаналізовано широкий ряд промислових вітчизняних та закордонних жароміцних сплавів на нікелевій основі, легованих різними елементами, особливості системи їх легування. Для сплавів даного класу розглянуто комплексний вплив легувальних елементів на структуроутворення і структурну стабільність щодо ймовірності утворення в їх структурі шкідливих ТЩУ фаз різного типу несприятливої морфології.

ЖАРОМІЦНІ НІКЕЛІВІ СПЛАВИ, ЛОПАТКИ ГТД, ДВИГУН ГТД,
ЛЕГУВАЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ, СТРУКТУРА, ФАЗОВИЙ СКЛАД, СТРУКТУРНА
СТАБІЛЬНІСТЬ, ТАНТАЛ, ТЩУ- ФАЗИ

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Вплив системи легування жароміцних нікелевих сплавів на їх структурну стабільність	7
1.1 Особливості експлуатації та вимоги, що висуваються до деталей, які виготовлені з жароміцних нікелевих сплавів.....	7
1.2 Структура, фазовий склад і термічна стабільність жароміцних нікелевих сплавів	10
1.3 Вплив легувальних елементів на структуру та властивості жароміцних сплавів	13
2 Матеріали і методика дослідження	20
2.1 Матеріали дослідження	20
2.2 Прогнозування структурної і фазової стабільності сплавів методом «ФАКОМП».....	22
2.3 Металографічні дослідження.....	24
2.4 Мікрорентгеноспектральний аналіз (МРСА) фаз.....	25
3 Розрахункове прогнозування методом «факомп» впливу танталу на ймовірність утворення в структурі сплаву змі-3у тщу фаз різних типів	26
4 Металографічні дослідження впливу танталу на структуру сплаву змі-3у і ймовірність виділення тщу фаз різних типів.....	31
5.1 Тенденції ринку жароміцних матеріалів	35
5.1 Розрахунок кошторису витрат на проведення науково-дослідницької роботи	36
5.2 Розрахунок економії від впровадження результатів науково-дослідницької роботи	40
6 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	47

6.1 Аналіз потенційних небезпек.....	47
6.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки.....	48
6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	53
6.4 Заходи з пожежної безпеки	55
6.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях	59
Висновки	61
Список використаних джерел	63
Додаток А.....	67

ВСТУП

Протягом останніх десятиліть жароміцні нікелеві сплави широко застосовуються як матеріали для лопаток авіаційних, судових двигунів і приводних стаціонарних ГТУ, і є перспективними для проєктованих пікових газотурбінних установок [1]. Газові турбіни широко застосовуються в якості приводів нагнітачів на компресорних станціях магістральних газопроводів, а потужні газові турбіни - для покриття пікових навантажень в енергосистемах.

Основна тенденція в розвитку енергетичного машинобудування - підвищення початкової температури газу, що безпосередньо пов'язане з економічністю агрегатів, і збільшенням їх одиничної потужності. Таким чином, початкова температура газу для машин різних типів становить 800 – 1000°C, що вимагає переходу до лопаткових матеріалів з підвищеною жароміцністю [2].

Закордонною та вітчизняною практикою [3-18] встановлено, що найважливішу роль у формуванні високого комплексу властивостей жароміцних нікелевих сплавів, поряд з легуванням, відіграє структурна і фазова стабільність. При цьому, звернено увагу на те, що перевагою сплавів спрямованої кристалізації, в порівнянні зі сплавами рівноосьової кристалізації, є відсутність поперечних границь зерен, розташованих перпендикулярно до діючого навантаження, що істотно підвищує їх жароміцність і знижує темп знеміцнення.

1 ВПЛИВ СИСТЕМИ ЛЕГУВАННЯ ЖАРОМІЦНИХ НІКЕЛЕВИХ СПЛАВІВ НА ЇХ СТРУКТУРНУ СТАБІЛЬНІСТЬ

1.1 Особливості експлуатації та вимоги, що висуваються до деталей, які виготовлені з жароміцних нікелевих сплавів

Відомо [1-7], що найбільш напруженим і відповідальним вузлом в турбіні є лопатковий апарат, а найбільш термічно напруженими деталями в гарячому тракті є робочі лопатки турбіни високого тиску, які в сучасних двигунах працюють десятки тисяч годин в широких інтервалах температур і напружень.

Слід зазначити, що специфіка умов роботи лопаток газових турбін визначає характер вимог до матеріалів, з яких вони виготовляються. Залежно від призначення (соплові або робочі лопатки) вимоги до рівня тих чи інших властивостей жароміцних сплавів різні. Тому до матеріалу робочих лопаток висуваються жорсткі вимоги щодо працездатності в широкому діапазоні температур: висока короточасна і тривала міцність у поєднанні з пластичністю при високому опорі високотемпературній повзучості; структурна стабільність і корозійна стійкість [8].

До матеріалів робочих лопаток газових турбін висуваються жорсткі вимоги щодо опору статичному і циклічному руйнуванню; невеликій схильності до крихкого руйнування; низькій чутливості до експлуатаційних перегрівів; втомної і термовтомної міцності при робочих температурах; мінімальної швидкості розвинення тріщин; технологічними характеристиками, що забезпечує необхідний рівень виходу придатного виливку за макроструктурою при отриманні виливків методом спрямованої (моно) кристалізації; мінімальної вартості деталей тощо.

У роботах [1, 3, 7] зазначено, що підвищення потужності і ККД сучасних енергетичних установок можливе лише при підвищенні початкової температури

газу на вході в турбіну. Підвищення робочих температур газотурбінних установок призводить до підвищення рівня термічних напружень, тому вимоги до термостійкості жароміцних нікелевих сплавів постійно зростають.

Необхідною умовою високої експлуатаційної надійності деталей ГТД є стабільність зовнішньої поверхні. Хоча на лопатки ГТД наносять різні захисні покриття, проте, опір газовій і сольовій корозії сплаву - основи має велике значення [8]. Відомо, що швидкість окислення на порядок нижче швидкості ВТК при одній і тій же температурі. Тому процесом, контролюючим ресурс роботи деталей гарячої частини ГТД при постійних температурно - силових параметрах, є ВТК, яка призводить до прискореного пошкодження робочих лопаток і передчасного виходу з ладу лопаткового апарату.

Розробка нового покоління як авіаційних двигунів, так і наземних газотурбінних установок пов'язується, в першу чергу, з отриманням лопаток з нових сучасних ливарних жароміцних корозійностійких нікелевих сплавів, здатних працювати при більш високих температурах і напруженнях в агресивних корозійних середовищах. Підвищення робочих температур лопаток турбін зробило досить актуальну задачу забезпечення сплавів високим опором газовій корозії. Тому високий рівень жаростійкості є одним з найважливіших вимог, що висуваються до сплавів для робочих лопаток газових турбін.

В даний час для базових агрегатів освоєний рівень температур 960 – 1060°C і 1065 – 1100°C - для пікових. При цьому приділено увагу на те, що статичне руйнування лопаток, внаслідок недостатньої тривалої міцності, може відбуватися в результаті підвищення температури газу, зниження властивостей матеріалу, внаслідок відхилення від регламентованих режимів термічної і механічної обробки.

У відомих роботах [9] відзначається, що висока корозійна стійкість забезпечується наявністю в сплаві не менше 20% хрому. Однак, вміст хрому в сплаві в поєднанні з алюмінієм, титаном, вольфрамом, молібденом, ніобієм,

танталом, гафнієм, може спричиняти утворення окрихчувальних топологічно щільноупакованих фаз (ТЩУ), типу σ -, μ -, η -, різко знижують працездатність сплаву.

Тому жароміцні корозійностійкі нікелеві сплави повинні відповідати жорстким вимогам структурної та фазової стабільності щодо виділення несприятливих ТЩУ - фаз в процесі тривалої експлуатації, а також мати високий опір сольовий і газової корозії, що досягається вмістом хрому ($12 - 16\%$) при певному відношенні концентрації титану до алюмінію $Ti/Al > 0,7 - 1,0$ [1, 4, 7].

Таким чином, дві основні вимоги, що висуваються до сучасних жароміцних нікелевих сплавів, знаходяться в прямому протиріччі. Однак, автори звертають увагу на те, що відомий ряд сплавів, в яких вміст хрому збалансовано з іншими легуючими елементами, і тим самим, забезпечується структурна і фазова стабільність [6-8].

З точки зору економічних підходів [10], важливою вимогою до експлуатованих лопаток є можливість їх багаторазового використання після періодичного відновлення структури і властивостей. При цьому наголошується, що необхідно встановлення критичного моменту, при якому ще ефективна відновна термообробка, або вона стає неможливою, в зв'язку зі змінами, що відбулися в структурі матеріалу.

До жароміцних нікелевих сплавів, призначених для спрямованої (моно) кристалізації, пред'являються жорсткіші вимоги, ніж до сплавів для рівноосьової кристалізації за змістом шкідливих домішок кольорових металів, джерелом яких є початкові шихтові матеріали, а також газових домішок, зокрема, кисню і азоту, які є джерелом неметалічних включень оксидів і нітриду. Оскільки багато що з вище перелічених вимог несумісний між собою, то для задоволення усіх специфічних вимог деталі для газових турбін виготовляють з різних класів жароміцних сплавів із застосуванням різних

покривів і технологічних прийомів. Тому складний хімічний і фазовий склад сплавів є наслідком численних і суперечливих вимог, які слід враховувати [11]. Таким чином, подальший розвиток сучасних жароміцних нікелевих сплавів пов'язаний з розробкою композицій, що відповідають усім цим вимогам.

1.2 Структура, фазовий склад і термічна стабільність жароміцних нікелевих сплавів

Сучасні жароміцні нікелеві сплави багатofазні, і службові властивості в процесі експлуатації при високих температурах визначаються, в основному, структурою сплавів і термічною стабільністю їх фазового складу [11].

Автори робіт [12] відмічають, що реальні сплави, внаслідок особливостей структури, практично завжди відрізняються внутрішньою нестабільністю. Хоча характер структурних і фазових перетворень при нагріві і охолодженні в сплавах, що розрізняються по хімічному складу, неоднаковий, оптимальне поєднання характеристик міцності досягається, завдяки можливості управління процесами виділення і зростання часток γ' - фази.

У більшості робіт [13,14,15] показано, що залежно від схеми легування, методу виплавки і режиму термічної обробки, в структурі жароміцних нікелевих сплавів можуть утворюватися різні фази. При цьому, вплив цих фаз на характеристики жароміцності.

Великий вплив на характеристики міцності має γ' - фаза, поведінка якої при високих температурах і тривалих витримках визначає працездатність сплаву в цілому.

Проаналізований вплив різниці параметрів ґратки γ - твердого розчину і γ' - фази і показано, що, чим більше ця різниця, незалежно від знаку, тим менше

часу до руйнування сплаву при заданій температурі і напрузі. При цьому, автори відмічають, що титан, ніобій, тантал збільшують розмірна невідповідність (мисфит) Δa між параметрами ґраток двох фаз. Ці елементи, входячи до складу γ' - фази, збільшують період її ґратки.

На рисунок 1.1 показаний відносний потенціал впливу легувальних елементів як твердорозчинних зміцнювачів у бінарних нікелевих сплавах, де тантал є найсильнішим зміцнювачем на атомному рівні.

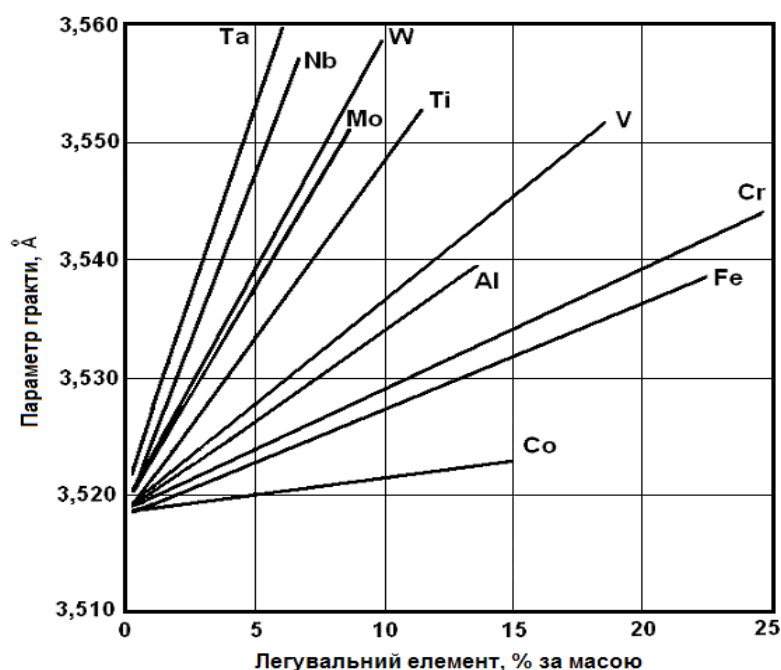


Рисунок 1.1 – Вплив легувальних елементів на параметр ґратки бінарних нікелевих сплавів

Видно, що хром, молібден і залізо зменшують значення Δa , оскільки, в основному, легуючи γ - твердий розчин, вони збільшують період ґраток, наближаючи його до значень періоду ґраток γ' - фази. Збільшення параметра кристалічної ґратки γ - матриці при легуванні танталом підвищує твердорозчинне зміцнення, за рахунок збільшення невідповідності параметрів кристалічних решіток γ - твердого розчину і γ' - фази [16].

Жароміцність сплавів, зміцнених когерентними з γ , - твердим розчином виділеннями впорядкованої γ' - фази, залежить від дисперсності часток, їх об'ємної долі, форми, розподілу, кінетики зміни структури і термодинамічної стійкості системи $\gamma+\gamma'$, аж до температури $0,8 t_{пл}$. При цьому, тантал, збільшуючи об'ємну долю γ' - фази, входить до її складу в досить великих концентраціях, і одночасно входить до складу γ - твердого розчину, гальмуючи дифузійні процеси, зокрема, коагуляцію γ' - фази.

Жароміцність сплавів істотно підвищується при об'ємній долі γ' - фази більше 50%. Більшість дослідників вважає, що сумарна концентрація γ' - утворювальних елементів в сучасних ливарних жароміцних нікелевих сплавах стала настільки велика, що в їх структурі спостерігається збільшення об'ємної долі евтектики $\gamma+\gamma'$. Евтектичні виділення значно більше часток γ' - фази, і роль їх в механізмі зміцнення сплавів до кінця не з'ясована.

Більшість дослідників вважає, що сумарна концентрація γ' - елементів, що утворюють, в сучасних ливарних жароміцних нікелевих сплавах стала настільки велика, що в їх структурі спостерігається збільшення об'ємної долі евтектики $\gamma+\gamma'$. Евтектичні виділення значно більше часток γ' - фази, і роль їх в механізмі зміцнення сплавів до кінця не з'ясована.

Автори звертають увагу на те, що велике значення в механізмі зміцнення нікелевих сплавів грають карбіди, які, переважно, утворюються з рідини і розташовуються між осями дендриту, що обумовлює їх специфічну морфологію. Показано, що всі γ' - утворювальні елементи (титан, ніобій, тантал, гафній) здатні утворювати карбіди типу MeC, і залежно від системи легування жароміцних нікелевих сплавів, об'ємна доля карбідів може складати (1,5 - 2,5).

У ряді досліджень відзначається, що в структурі жароміцних нікелевих сплавів можуть бути присутніми інтерметаліди типу Ni_3Ti , Ni_3Nb , Ni_3Ta (η - фаза), які можуть утворюватися при підвищеній концентрації титану, ніобію, танталу відповідно, а також ТЩУ - фази типу σ - і μ , умови утворення яких

визначаються схемою легування сплавів. Автори повідомляють, що ці фази або є менш ефективними зміцнювачами, в порівнянні з γ' - фазою і карбідами, або, виділяючись у вигляді пластин, різко знижують опір сплавів руйнуванню при високих температурах і роблять негативний вплив на пластичність і ряд інших характеристик.

Дослідження фазового складу постійно супроводжують увесь період розробки жароміцних нікелевих сплавів. Вплив кожного легуючого елементу на зміцнення γ - твердого розчину, а також на склад і кількість фаз, що утворюються, параметри їх кристалічних ґраток і інші важливі характеристики дуже складно і не завжди однозначно.

Проте, результати вивчення фазового складу дають основу говорити про деякі загальні закономірності і тенденції .

Вважається [16], що ускладнення складу сплаву викликає зміну співвідношення γ - і γ' - фаз, а також перерозподіл елементів між ними, при цьому хром робить вплив на розчинність титану, ніобію, танталу в γ' - фазі. Відзначається, що знеміцнення жароміцних нікелевих сплавів із спрямованою (моно) структурою відбувається внаслідок перерозподілу легувальних елементів поблизу границь фаз, що відноситься до найбільш дифузійно рухливим елементам - алюмінію, титану, хрому і домішкам, - які сприяють процесу коагуляції γ' - фази і зменшенню її кількості.

1.3 Вплив легувальних елементів на структуру та властивості жароміцних сплавів

Алюміній та титан. Алюміній та титан є основними елементами в γ' - фазі. Вони позитивно впливають на $t_{п.р.}^{\gamma'}$ підвищуючи її значення. Збільшення

довговічності сплавів при високій температурі досягається не за рахунок підвищення сумарного вмісту цих елементів. Навпаки, їх концентрація (при загальному збільшенні кількості γ' - фази і γ' - утворюючих елементів в сплавах) має тенденцію до деякого зниження, особливо титану. Подібна обставина пояснюється тим, що при досягнутому рівні легування ефективними зміцнювачами стають такі γ' - утворювальні елементи, як гафній, ніобій, тантал тощо, оскільки вони інтенсивніше стабілізують γ' - фазу і карбіди, 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 (НК) 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).

В сплавах 2- і 3-го поколінь, призначених для монокристалічного лиття і для НК, зміст Al зросла до 6,0-6,2%, але при цьому рівень їх легування Ti знизився до 0,7-1,0% , або Ti не вводять в склади цих сплавів зовсім.

Алюміній є також елементом, що забезпечує ефективний захист жароміцних нікелевих сплавів від високотемпературної газової корозії [17].

Гафній та ніобій. 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 евтектичною γ' - фази і позитивним чином змінює морфологію карбідів MC. Вони набувають форму округлих включень, що визначає поліпшення механічних властивостей.

Під впливом гафнію утворюються евтектичні виділення γ' - фази, що викривляють границі зерен, що призводить до підвищення опору повзучості. Позитивна роль гафнію як зміцнювача границь пояснюється ще тим, що,

перебуваючи в боридній фазі, він заміщає хром, роблячи борид більш тугоплавким; 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 призвело до своєрідної революції в теорії легування. В результаті були створені не тільки нові сплави з більш високим рівнем жароміцності і пластичності, а й значно поліпшені 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 викликає більшу, 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 напружені закристилізовані сплави дозволило б значно підвищити їх пластичність в поперечному напрямку.

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 ліквідації, підвищує температуру рекристалізації та сповільнює дифузійні процеси. В результаті зростають стабільність і жароміцність сплаву.

Тантал. Теоретичні розрахунки енергії міжатомного зв'язку, а також експериментальні дослідження показують, що тантал є одним з елементів, які сильно впливає 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 та цирконій. 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.

Поліпшення властивостей жароміцних сплавів значною мірою пов'язано із зміцненням твердого розчину. Ефективними зміцнювачами та стабілізаторами γ' -твердого розчину є елементи групи VI A, а також кобальт.

Вольфрам та молибден. Ці елементи позитивно впливають на властивості нікелевих жароміцних сплавів. Вольфрам в порівнянні з молибденом переважає. 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 - бажаний елемент в ливарних сплавах, в тому числі жароміцних. Сплави, що містять молібден, 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. *Реній*. 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 витісненню 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.

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.)[18].

Хром та кобальт. Підвищення жароміцності сплавів супроводжується помітним зниженням змісту 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).

Вуглець. 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% [18].

2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

В якості матеріалу робочих лопаток для стаціонарних газових турбін у вітчизняній промисловості широко застосовується відомий серійний ливарний жароміцний корозійностійкий сплав ЗМІ-3У на нікелевої основі, розроблений кафедрою «Фізичного матеріалознавства». З врахуванням його промислової доступності сплав ЗМІ-3У середнього рівня легування було обрано за базовий склад для виготовлення зразків дослідних сплавів.

На отриманих дослідних складах в досліджуваному діапазоні легування (1-5%), за масою, вивчали вплив танталу на схильність до утворення шкідливих ТЩУ фаз на структурну стабільність сплаву ЗМІ-3У.

2.1 Матеріали дослідження

В роботі було досліджено вплив танталу на структурну стабільність жароміцного корозійностійкого нікелевого сплаву ЗМІ-3У до схильності дослідних складів до утворення ТЩУ фаз різного типу після тривалого теплового впливу за температур 850⁰ і 950⁰С протягом 1000 годин.

Зразки дослідних складів були виготовлені на основі базового сплаву ЗМІ-3У середнього рівня легування, що містив тантал в досліджуваному діапазоні (1-5%), із концентраційним кроком 1% за масою всередині діапазону легування. В якості легувальних компонентів використовували стандартні шихтові матеріали, які наведені в табл. 2.1

Таблиця 2.1 – Стандартні шихтові матеріали

Шихтові матеріали	Матка	Стандарт
1	2	3
Нікель катодний	НО	ГОСТ 8492-70
Хром	X99A	ГОСТ 5905-79
Кобальт	КО	ГОСТ 123-78
Вольфрам (штабики)	ШВЧ	ТУ 48-19-83, ТУ48-19-76-90
Молібден (штабики)	МШО	ТУ 48-19-73-86
Алюміній	A99	ГОСТ 16100-74
Тантал, прутки, пластини	ТВЧ	ГОСТ 189041-89
Титан губчастий	ТГ100	ГОСТ 177446-70
Лігатура нікель-бор	НБ-1	ТУ 14-106-292

Хімічний аналіз дослідних плавок проводився стандартними методами, відповідно до вимог ТУ 14-1689-73 і ГОСТ 1.90127-85. Спектральний хімічний аналіз проводився на оптичному емісійному приладі ARL-4460 (квантометр одночасного багатоканального аналізу) в хвильовому діапазоні 170 - 800 нм. Хімічний склад плавок, з яких було отримано дослідні зразки наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Хімічний склад реальних плавок дослідних сплавів

Склад	Вміст елементу, % за масою											
№	C	Cr	Al	Ti	Mo	W	Co	Ta	B	Y	La	Ni
0	0,08	13,3	3,3	4,8	0,8	7,2	5,0	--	0,009	0,03	0,01	Решта
1	0,07	13,1	3,4	4,7	0,7	6,9	5,1	0,9	0,008	0,03	0,01	
2	0,07	13,2	3,6	4,6	0,8	7,0	4,9	1,9	0,008	0,03	0,01	
3	0,08	13,5	3,5	4,6	0,7	6,9	4,8	2,8	0,009	0,03	0,01	

Продовження таблиці 2.2

Склад №	Вміст елементу, % за масою											
	C	Cr	Al	Ti	Mo	W	Co	Ta	B	Y	La	Ni
4	0,06	13,0	3,6	4,4	0,7	7,2	5,0	3,9	0,008	0,03	0,01	Реш.
5	0,07	13,2	3,5	4,5	0,8	7,1	5,1	4,8	0,008	0,03	0,01	

Сплав ЗМІ-3У без танталу (склад «0») відповідав середньому паспортному складу [19]. Наступний за номером дослідний склад від «1» до «5» містив, за розрахунком, на 1% за масою танталу більше, ніж попередній (табл. 2.2).

2.2 Прогнозування структурної і фазової стабільності сплавів методом «ФАКОМП»

Більшість методик використовують концепцію переважаючого впливу на стабілізацію σ -, μ - фаз в нікелевих сплавах електронного фактору. Прогнозуючі розрахунки зводяться до визначення значень середньої N_V і критичної $N_V^{кр}$ концентрації електронних вакансій в γ – твердому розчині.

При обчисленні методом ФАКОМП [21,22] хімічного складу різних фаз, присутніх в дослідних складах, виконувався ряд правил:

1. Половина вуглецю вважалася пов'язаної в монокарбіді типу MeC (TaC, TiC тощо.), а решта вуглець - в з'єднаннях $Cr_{23}C_6$ або $Cr_{21}(Mo, W)_2C_6$, якщо в дослідних складах є вольфрам і молібден;

2. Участь нікелю, хрому, титану і молібдену в утворенні боридів враховувалося формулою $(Mo_{0,5} Ti_{0,15} Cr_{0,25} Ni_{0,10})B_2$;

3. Повний вміст алюмінію, титану і танталу, що залишилися після виділення карбідів і боридів, плюс 3% від початкового вмісту хрому,

комбінувалося з утричі більшим вмістом нікелю, щоб врахувати утворення γ' - фази Ni_3 (Al, Ti, Ta, Cr);

4. Вміст елементів фаз підсумовувати, а потім віднімалося з повного хімічного складу сплаву. Підсумковий складу аустеніту (γ - твердий розчин) приймався за 100%;

5. Хімічний склад нової матриці кожного дослідженого складу використовувався для розрахунку середньої кількості електронних дірок N_V шляхом підсумовування за формулою:

$$N_V = \sum_{i=1}^n m_i (N_V)_i, \quad (2.1)$$

де m_i і N_V відповідно - атомна частка і число електронних дірок кожного конкретного елемента, n - число компонентів в γ - твердому розчині;

6. Для досліджених складів порівнювалися отримані значення N_V з умовами $N_V^{\text{кр}} \geq 2,45 - 2,49$.

При розрахунку методом ФАКОМП фазової стабільності дослідних складів в порівнянні з відомими промисловими сплавами значення $N_{V\gamma}$ для кожного окремого елемента було взято по Полингу [23]. Раніше авторами системи ФАКОМП [21, 22] було показано, що σ - фаза утворюється при значенні $N_{V\gamma} > 2,49$.

Проте, для багатьох жароміцних нікелевих сплавів, схильних до утворення σ - фази або інших ТЦУ - фаз, критичне значення знаходиться в діапазоні $N_V^{\text{кр}} \geq 2,45 - 2,49$. Сплави, що мають менші значення $N_{V\gamma}$ - фактора для γ - твердого розчину, вважаються σ - безпечними. Хоча для деяких σ - небезпечних сплавів наводяться значно менші значення $N_V^{\text{кр}}$ ($N_V^{\text{кр}} = 2,32$ для Rene 80; $N_V^{\text{кр}} = 2,36$ для IN-738LC).

2.3 Металографічні дослідження

Металографічні дослідження мікроструктури зразків дослідних складів проводили на нетравлених і травлених мікрошліфах, площа яких була орієнтована уздовж і по нормалі до поверхні зразків, на світловому оптичному мікроскопі «Olympus IX-70» з цифровою відеокамерою «ExwaveHAD color video camera Digital Sony» при збільшенні $\times 200$.

Мікроструктуру виявляли за допомогою травлення поверхні шліфів реактивом Марбле [23] - CuSO_4 - 4 г, HCl - 20 мл, вода - 20 мл за режимом: травлення 10 - 15 секунд, промивка водою, сушка гарячим повітрям.

Для виявлення карбідів, використовували реактив NaF - 30 г, HCl - 100 мл, лимонна кислота - 100 г, H_2O - 1000 мл, щільність струму - $200 \text{ A} / \text{m}^2$.

Для ідентифікації σ - фази і карбідів типу M_6C , що мають схожу голчасту морфологію, проводилося кольорове травлення за допомогою реактиву: червона кров'яна сіль - 10 г, NaOH - 10 г, H_2O - 100 мл, щільність струму $500 \text{ A} / \text{m}^2$.

Для виявлення евтектики $\gamma + \gamma'$ і γ' - фази використовували реактив CuSO_4 - 20 г, H_2SO_4 - 5 мл, решта - H_2O , щільність струму - $500 \text{ A} / \text{m}^2$.

Дослідження тонкої структури (топології, морфології, складу фаз) дослідних складів в литому стані і після термообробки, а також після тривалого теплового впливу за температур 850° і 950°C протягом 1000 годин здійснювали методом електронної мікроскопії на растровому мікроскопі JEOL JSM-6360LA при збільшенні $\times 3500$.

Вміст танталу в сплаві ЗМІ-3У знаходився в межах досліджуваного діапазону легування (1-5%). Вміст інших елементів знаходився у межах марочного складу ЗМІ-3У на середньому рівні легування [27-29].

2.4 Мікрорентгеноспектральний аналіз (МРСА) фаз

Для ідентифікації ТЩУ фаз використовували метод локального мікрозондового аналізу і досліджень в режимі картування. Дослідження складу фаз здійснювали на приставці до растрового електронного мікроскопу JEOL JSM – 6360LA із системою енергодисперсійного мікрорентгено-спектрального аналізу JED-2300. Даним методом оцінювали вплив танталу на структуроутворення сплаву ЗМІ-ЗУ в досліджуваному діапазоні легування, а також ймовірність виділення ТЩУ фаз різного типу. Перерахунок значень якісного аналізу в кількісний здійснювався автоматично за програмою приладу. Відносна похибка методу складала $\pm 0,1\%$ (за масою).

3 РОЗРАХУНКОВЕ ПРОГНОЗУВАННЯ МЕТОДОМ «ФАКОМП» ВПЛИВУ ТАНТАЛУ НА ЙМОВІРНІСТЬ УТВОРЕННЯ В СТРУКТУРІ СПЛАВУ ЗМІ-ЗУ ТЩУ ФАЗ РІЗНИХ ТИПІВ

Структурна стабільність і фазова складнолегованих жароміцних нікелевих сплавів в процесі тривалого температурного впливу визначається термічною стабільністю окремих фаз. При цьому, початкові умови кристалізації істотно впливають як на морфологію фаз, так і на їх хімічний склад. Структурні перетворення при високих температурах і тривалих витримках визначають працездатність сплаву в цілому. У процесі тривалого теплового впливу, крім структурних факторів, на термічну стабільність сплавів впливають кінетичні фактори: швидкість коагуляції фаз, розчинення евтектичних фаз, дифузійні процеси на границях фаз. При цьому, структура за рахунок подальших структурних перетворень зазнає істотних змін, не досягаючи повної стабільності [30, 32].

Для сплаву ЗМІ-ЗУ паспортного складу (без танталу) робочий температурний діапазон працездатності становить 800–850°C [19].

Визначальним фактором утворення топологічно щільнопакованих (ТЩУ) фаз є хімічний склад сплаву. При цьому, для прогнозування структурної і фазової стабільності сплаву важливо знати вихідний хімічний склад фаз, і особливо γ - твердого розчину.

Розрахунок хімічного складу методом «ФАКОМП» [21, 22] за кількістю електронних вакансій N_v дозволив досить точно прогнозувати утворення σ - фази в досліджених складах. Так, якщо у сплаву величина N_v перевищувала $N_v^{кр} \geq 2,49$ ($N_v^{кр}$ - критичне число електронних вакансій), то при тривалому температурному впливі в діапазоні робочих температур в його структурі ймовірно утворення ТЩУ фаз.

Дослідження показали [32-34], що небезпека появи ТЩУ- фаз несприятливої морфології негативно впливає на показники міцності і пластичності, що виникає при недостатньому контролі плавов за елементами всередині інтервалу легування. У разі надмірного легування важкотопкими або γ' - утворювальними елементами, в структурі сплавів ймовірно виділення фаз типу σ -, μ -, η - у вигляді пластин або голок.

Слід зазначити, що для більшості промислових жароміцних нікелевих сплавів максимально леговані композиції є ТЩУ- небезпечними, що свідчить про необхідність ретельного контролю їх хімічного складу.

З метою прогнозування ймовірності утворення ТЩУ фаз в структурі досліджених складів був застосований розрахунковий метод «ФАКОМП» (див. розд. 2). В таблиці 3.1 представлені розрахункові значення N_V - фактора за методом «ФАКОМП» і значення співвідношення $Cr / (Cr + Mo + W)$ для конкретних плавов досліджених сплавів, що містять різну концентрацію танталу в дослідженому діапазоні легування (1-5%).

Таблиця 3.1 – Розрахункові значення N_V - фактора і параметра $Cr / (Cr + Mo + W)$ для конкретних плавов дослідних складів

Розрахункові параметри	Дослідні склади					
	0	1	2	3	4	5
N_V – фактор	2,01	2,08	2,13	2,20	2,29	2,38
$Cr/(Cr+Mo+W)$	0,62	0,63	0,63	0,64	0,62	0,63

Порівняння розрахункових значень N_V - фактора для γ - твердих розчинів дослідних складів показало, що величина N_V - фактора підвищується зі збільшенням концентрації танталу в сплаві ЗМІ-3У. Порівняльний аналіз результатів показав, що всі досліджені склади, з точки зору вищезазначених підходів, σ - безпечні, так як мають менші значення N_V - фактора, які знаходяться

в діапазоні 2,01 - 2,38, ніж критична величина 2,49. Тому для дослідного сплаву ЗМІ-3У з 4% танталу (склад 4), який показав кращі характеристики жароміцності, за критичне значення $N_v^{кр}$ - фактору було прийнято величину 2,37.

Разом з тим, було встановлено, що при вмісті танталу 5% в сплаві ЗМІ-3У (склад «5») при значеннях фактора $N_v = 2,38$ в структурі після тривалого температурного впливу спостерігалось виділення надлишкових фаз типу σ -, η - фаза на основі Ni_3Ti і Ni_3Ta пластинчастої морфології, що викликає помітну структурну неоднорідність, що супроводжується помітним зниженням показників короткочасної і тривалої міцності, особливо пластичності, що було підтверджено механічними випробуваннями.

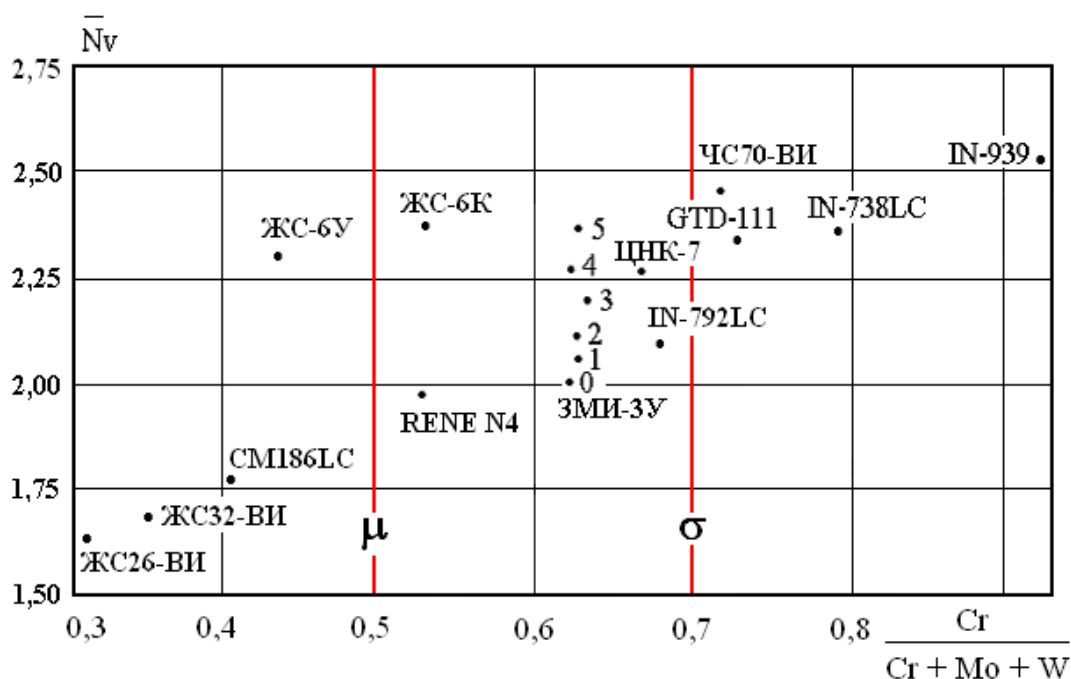


Рисунок 3.1 – Залежність утворення σ - або μ - фази в промислових нікелевих сплавах та дослідних складах від величини $\bar{N}_v$ – фактора та співвідношення $Cr / (Cr+Mo+W)$.

На рисунку 3.1 представлена залежність утворення σ - або μ - фази в

структурі жароміцних нікелевих сплавів і дослідних складах, легованих танталом в дослідженому діапазоні (1-5%), від величини N_V - фактора і параметра $Cr / (Cr + Mo + W)$. Результати розрахунків величини N_V - фактора і параметра $Cr / (Cr + Mo + W)$ для дослідних складів зіставлялися із сплавом ЗМІ-3У без танталу (склад «0»), а також з відомими промисловими вітчизняними і закордонними сплавами.

На рисунку 3.1 показано, що існує досить широка перехідна область між значеннями N_V - фактора σ - і μ - «безпечних» і «небезпечних» промислових жароміцних нікелевих сплавів, розрахованих за методом «ФАКОМП». Як показала практика, багато відомих промислових сплавів цього класу потрапляють в перехідну область, тому величина N_V - фактора є неоднозначною характеристикою. Разом з тим, за додаткову характеристику було обрано величину співвідношення вмісту хрому до сумарного вмісту елементів VI-ї групи $Cr / (Cr + Mo + W)$. Показано, що за допомогою даного параметра, також можна прогнозувати можливість утворення σ - або μ - фази як в промислових сплавах, так і в дослідних складах. Тому при аналізі отриманих даних за величинами N_V - фактора дослідні склади вважаються σ - безпечними, з урахуванням величини параметра $Cr / (Cr + Mo + W)$.

Так, в області малих значень параметра $Cr / (Cr + Mo + W) < 0,5$ в жароміцних нікелевих сплавах скоріш за може утворитися μ - фаза при більш низькому значенні N_V - фактора. При великих значеннях параметра $Cr / (Cr + Mo + W) > 0,7$ і більш високому значенні N_V - фактора скоріш за буде утворюватися σ - фаза. При цьому, практикою встановлено, що граничне значення N_V - фактора, вище якого в сплаві утворюється σ - фаза, знижується зі збільшенням величини параметра $Cr / (Cr + Mo + W)$.

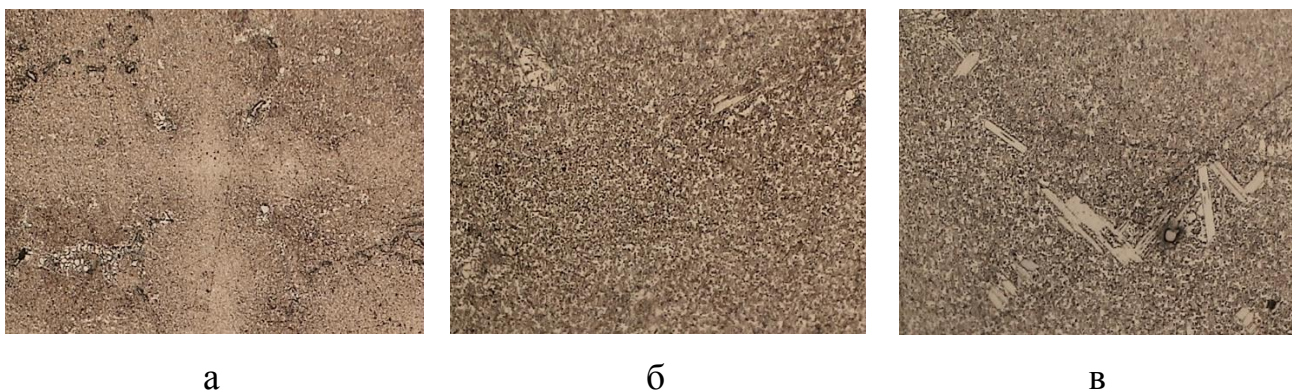
Однак, між значеннями N_V - фактора «небезпечних» і «безпечних» сплавів є перехідна область значень параметра $0,5 < Cr / (Cr + Mo + W) < 0,7$, в якій знаходяться сплав ЗМІ-3У (склад «0 ») і дослідні склади (1-5), де утворення σ -

або μ - фази визначаються умовами лиття і режимами термообробки, і ймовірність утворення цих фаз за величиною N_V - фактора не буде єдиним об'єктивним підходом, який визначає можливість утворення конкретної ТЩУ - фази. Тому, кількісне значення величини N_V - фактора має зазначатися з урахуванням параметра $Cr / (Cr + Mo + W)$, що дає практично однаковий кількісний вклад в величину N_V - фактора (див. рис. 3.5). Отримані результати узгоджуються з даними роботи [23].

4 МЕТАЛОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТАНТАЛУ НА СТРУКТУРУ СПЛАВУ ЗМІ-ЗУ І ЙМОВІРНІСТЬ ВИДІЛЕННЯ ТЩУ ФАЗ РІЗНИХ ТИПІВ

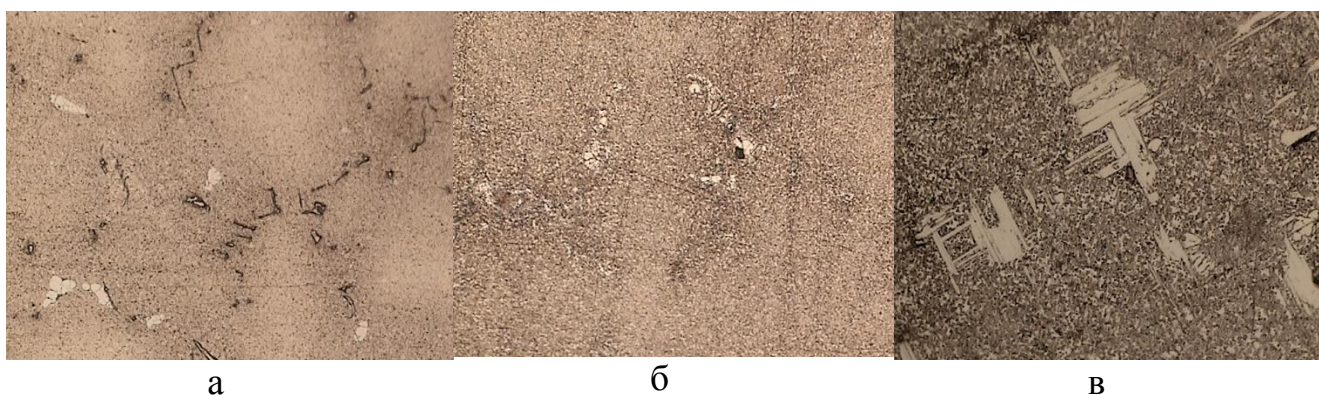
Проведений порівняльний металографічний аналіз показав, що після тривалого температурного впливу за температур 850°C і 950°C протягом 1000 годин, в структурі сплаву ЗМІ-ЗУ без танталу і дослідному складі 4, що містить тантал 4% за масою, ТЩУ фази не утворюється, тому, що їх γ - тверді розчини залишаються стабільними, щодо виділення надлишкових шкідливих фаз несприятливої морфології (див. рис. 4.1 а, б ; рис. 4.2 а, б).

У той же час, на (рис. 4.1 в) і (рис. 4.2 в) видно, що в структурі сплаву ЗМІ-ЗУ з танталом 5% за масою (склад 5) спостерігається утворення η - фази на основі танталу Ni_3Ta або титану Ni_3Ti в результаті підвищеного вмісту цих елементів в метастабільних евтектичних виділеннях $\gamma+\gamma'$.



а – сплав ЗМІ-ЗУ без танталу; б- дослідний склад 4 (ЗМІ-ЗУ + 4% Ta);
в – дослідний склад 5 (ЗМІ-ЗУ + 5% Ta)

Рисунок 4.1 - Структура досліджених сплавів після тривалого температурного впливу при 850°C протягом 1000 годин: $\times 200$



а – сплав ЗМІ-3У без танталу; б- дослідний склад 4 (ЗМІ-3У + 4% Та);

в – дослідний склад 5 (ЗМІ-3У + 5% Та)

Рисунок 4.2 - Структура досліджених сплавів після тривалого температурного впливу при 950°C протягом 1000 годин: $\times 200$

У той же час, на (рис. 4.3 а) видно, що в структурі складу 5 спостерігається утворення голкоподібних пластин η - фази на основі Ni_3Ti і Ni_3Ta з метастабільних евтектичних виділень $\gamma + \gamma'$ в результаті підвищеного вмісту титану і танталу в евтектичних виділеннях в сплаві ЗМІ-3У, який містить тантал 5% за масою.

Одночасно, на (рис. 4.3 б) і (рис. 4.4) видно, що в структурі складу 5 спостерігається утворення пластинчастої σ - фази в результаті термодинамічних перетворень нестабільних карбідів типу на основі хрому Cr_{23}C_6 за рахунок підвищеного вмісту важкотопких елементів вольфраму, молібдену, кобальту, що входять до їхнього складу в сплаві ЗМІ-3У, який містить тантал 5% за масою.



а

б

а – виділення η - фази на основі Ni_3Ti і Ni_3Ta з евтектики $\gamma + \gamma'$;

б - утворення σ - фази на карбідних частках Cr_{23}C_6 .

Рисунок 4.3 – Утворення ТЩУ- фаз в структурі сплаву ЗМІ-3У з танталом 5% за масою (склад 5)

Проведені дослідження методом мікрорентгеноспектрального аналізу (МРСА) також показали, що після тривалого температурного впливу за температур 850°C і 950°C протягом 1000 годин, в структурі сплаву ЗМІ-3У без танталу і дослідних складів (1-4), η - і σ - фази не утворюється, тому що їх γ - тверді розчини залишаються стабільними щодо виділення ТЩУ- фаз.

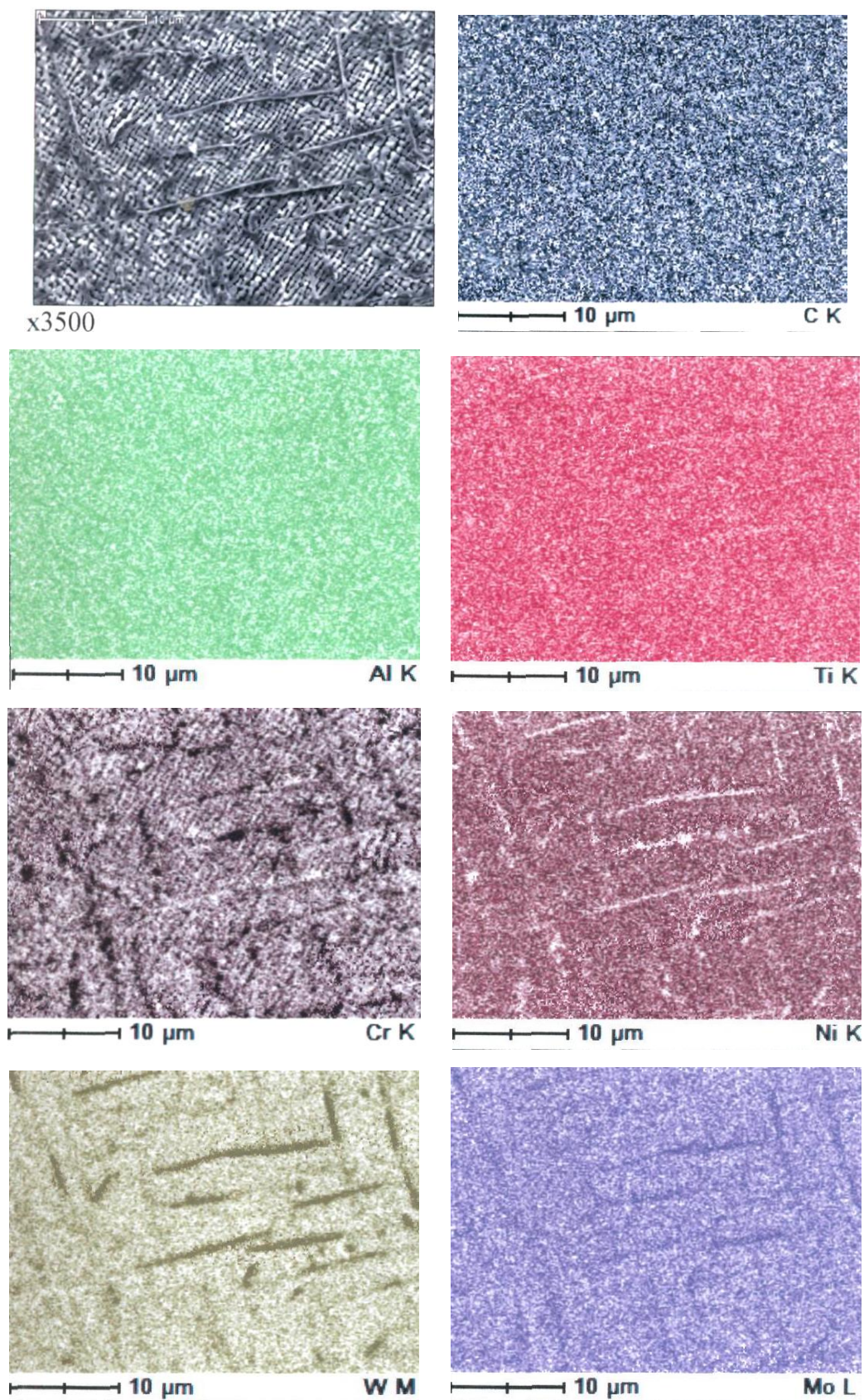


Рисунок 4.4 – Результати МРСА в режимі картування ділянки з пластинчастими виділеннями в структурі складу 5 (ЗМІ-3У + 5% Та): ×3500

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Тенденції ринку жароміцних матеріалів

У сучасному авіабудуванні в умовах гострої конкуренції на світовому ринках особливої актуальності для двигунобудівних підприємств має проблема випуску конкурентоздатної продукції. При цьому необхідно враховувати якість продукції, що випускається, стислі терміни і вартість виробу.

Виробництво газотурбінних двигунів (ГТД) вимагає впровадження нових жароміцних матеріалів вітчизняного виробництва, які мають підвищені жароміцні, корозійностійкі і фізико-механічні властивості, а також повинні бути дешевше зарубіжних аналогів.

Однією із необхідних умов для забезпечення високої експлуатаційної надійності деталей ГТД є стабільність зовнішньої поверхні та внутрішньої структури жароміцних сплавів. Відомо, що швидкість окислення на порядок нижче за швидкість високотемпературної корозії при одній і тій же температурі. Тому, процесом, контролюючим ресурс роботи деталей, що працюють при підвищених температурах і постійних температурно – силових параметрах, є ВТК, яка приводить до прискореного пошкодження робочих лопаток і передчасного виходу з ладу лопаточного апарату і механічні властивості в першу чергу залежить від схеми легування сплаву, а також від його структури.

Введення танталу в нікелеві сплави сприяє підвищенню їх корозійної стійкості, міцності та довговічності, гальмує механізм утворення ТЩП – фаз. Взагалі контроль утворення ТЩП – фаз в структурі, значно підвищує властивості сплаву при підвищених температурах. Відзначено, що позитивний вплив танталу на властивості нікелевих сплавів, особливо проявляється при високих температурах, що вказує на доцільність легування ним перспективних нікелевих сплавів.

5.1 Розрахунок кошторису витрат на проведення науково-дослідницької роботи

До складу витрат на виконання науково-дослідницької роботи включається вартість всіх ресурсів, необхідних для реалізації комплексу робіт.

Для визначення витрат на проведення науково-дослідницької роботи та технологічних випробувань, які вкажуть на доцільність використання модернізованого сплаву, складається кошторис витрат наведений в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Кошторис витрат на виконання науково-дослідницької роботи

№ п/п	Стаття витрат	Умовне позначення	Сума	
			грн.	% по всьому
1	2	3	4	5
1	Матеріали, покупні вироби та напівфабрикати (із відрахуванням реалізуємих відходів)	C_M	2030	2
2	Спеціальне обладнання для наукової (експериментальної) роботи	C_{OB}	810	1
3	Основна та додаткова зарплати виробничого персоналу	З	15565	18
4	Відрахування на соціальне страхування із суми основної та додаткової зарплати	С	13230	7

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5
5	Накладні витрати	H_B	14200	16
6	Витрати на технологічні випробування	B_T	50000	56
	Всього	K_{HDP}	95835	100

1) Розрахунок вартості матеріалів

До цієї статті відносять витрати на придбання основних матеріалів для проведення дослідження, а також для виготовлення макетів та дослідних зразків (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Розрахунок витрат на матеріали

Матеріал	Марка	Одиниця	Витрати матеріалу	Ціна за одиницю, грн.	Сума витрат, грн.
1	2	3	4	5	6
Нікелевий сплав	ЗМИ-3У	1 кг	3 кг	159	477
Травник	$H_2O + HNO_3$ + HF	1 л	1 л	210	210

Продовження таблиці 5.2

1	2	3	4	5	6
Фотопапір	–	1 лист	55 листів	23	1265
Всього					1952
Транспортно-заготівельні витрати (ТЗВ)	4% вартості матеріалів				78
Всього з урахуванням ТЗВ					2030

2) Спеціальне обладнання для наукової (експериментальної) роботи

В цій статті враховуються витрати на купівлю, доставку та монтаж лабораторних установок, вимірювальних та регулюючих приладів, пристроїв, випробувальної апаратури та ін. (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Витрати на спеціальне обладнання

Обладнання	Вартість обладнання, грн.	Срок експлуатації, років	Амортизаційні відрахування (річні)	Вартість експлуатації грн/год	Кількість годин роботи в лабораторії	Вартість, грн
Оптичний мікроскоп МІМ - 8	72300	25	2892	4,3	10	430
ДРОН	56200	30	1873	9,50	40	380

3) Розрахунок заробітної плати

Витрати за цією статтею складаються із планового фонду зарплати усіх категорій працівників, які зайняті на проведенні наукових досліджень. Результати розрахунків наведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Розрахунок основної заробітної плати

Посада	Кількість працівників	Місячний оклад, грн.	Кількість місяців роботи	Заробітна плата, грн.	Додаткова заробітна плата, грн.
Зам. начальника ЦЗЛ	1	6452	1	6452	645
Старший інженер	1	5786	1	5786	578
Інженер	2	5250	1	5250	525
Лаборант	3	4730	1	4730	473
Технік	1	4730	1	4730	473
Начальник ЕВМ	1	6452	1	6452	645
Оператор ЕВМ	1	4730	1	4730	473
Всього	10			32344	3234
Разом	10			35578	

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

4) Відрахування на соціальне страхування

Ці витрати визначаються в розмірі 22% основної та додаткової зарплати і складають 13230 грн. Ці дані заносяться до табл. 5.1.

5) Накладні витрати

Накладні витрати для науково-дослідницької роботи визначаються в відсотках від основної зарплати виконавців в межах 100-150 %. До них відносяться витрати, пов'язані з управлінням, утриманням та експлуатацією обладнання та будівель. Ці витрати для даної роботи становлять 14200 грн.

6) Витрати на технологічні випробування становили 50 000 грн. Технологічні випробування склалися з мікрорентгеноспектрального та рентгеноструктурного аналізу, а також з випробувань на механічні властивості лопаток з модернізованого сплаву ЗМИ-ЗУМ, який містив тантал.

5.2 Розрахунок економії від впровадження результатів науково-дослідницької роботи

Розрахунок економічного ефекту від застосування в експлуатації для газоперекачувальних агрегатів імпортного виробництва типу ГТК-10И робочих лопаток ТВД із сплаву ЗМИ-ЗУМ, що містить тантал, замість робочих лопаток із сплаву ЗМИ-ЗУ проводився на основі даних Управління магістральних газопроводів і умов їх виготовлення на АТ «МОТОР СІЧ».

В таблиці 5.5 наведені дані для розрахунку економічного ефекту від впровадження результатів роботи:

Таблиця 5.5 - Вихідні дані для розрахунку річного економічного ефекту від впровадження результатів роботи

№	Найменування показників	Умовні позначення		Одиниці виміру	Варіанти	
		Базові показники	Розрахункові показники		ЗМИ-ЗУ	ЗМИ-ЗУ з 4% танталом
1	2	3	4	5	6	7
1	Ресурс безперервної експлуатації лопаток	T_0	T_1	години	32000	50000
2	Річна потреба в комплектах лопаток	K_0	K_1	комплект	16	10
3	Кількість лопаток в комплекті	n_0	n_1	шт.	80	80
4.	Ціна лопатки	$C_{л0}$	$C_{л1}$	грн.	2850	-
5	Вихід придатної кількості лопаток з 1 тонни сплаву	m_0	m_1	шт.	320	320
6	Ціна 1кг танталу	-	C_T	грн.	-	900
7	К-ть танталу на 1 тону сплаву	-	K_T	кг	-	40

Продовження таблиці 5.5

1	2	3	4	5	6	7
8	Ціна 1 тонни сплаву	$C_{г0}$	$C_{г1}$	грн.	122500	-
9	Витрати на проведення науково-дослідницької роботи	-	$K_{НДР}$	грн.	-	23367
10	Річна потреба в сплаві для лопаток	M_0	M_1	тонн	4,0	2,5
11	Річний об'єм реалізації лопаток	V_0	V_1	грн.	3648000	-
12	Ціна сплаву на річну програму	$C_{г0}$	$C_{г1}$	грн.	490000	-

Для розрахунку економічного ефекту використовуємо данні таблиці 5.5:

1. Ресурс безперервної експлуатації робочих лопаток ТВД ГТК-10И виробництва НВО «Резонанс ЛТД» складає 30-32 тис. годин (T_0).

2. Річна потреба в комплектах лопаток починаючи з 2000 року, 16 комплектів (K_0).

3. Коефіцієнт збільшення ресурсу ($K_{зр}$) робочих лопаток складає:

$$K_{зр} = T_1/T_0 = 50000/32000 = 1,6$$

4. Підвищення тривалої міцності і корозійної стійкості, за рахунок додаткового легуванням сплаву ЗМІ-3У танталом, призводить до збільшення вартості сплаву і самої лопатки.

Вартість 1 тонни сплаву ЗМІ-3У підвищується на:

$$\Delta\Pi_T = \Pi_T \cdot K_T = 900 \cdot 40 = 36000 \text{ грн.},$$

При цьому коефіцієнт збільшення вартості ($K_{зв}$) складає:

$$K_{зв} = \Pi_0 + \Delta\Pi_T / \Pi_0 = 122500 + 36000 / 122500 = 1,29$$

5. Для розрахунку вартості 1 шт. лопатки із сплав визначили цінову частку сплаву в лопатці:

$$\Delta\Pi = \Pi_{г0} / V_0 = 490000 / 3648000 = 0,134 \text{ (тобто 13,4\%).}$$

При цьому коефіцієнт збільшення ціни 1 шт. лопатки ($K_{зц}$) складе:

$$K_{зц} = K_{ус} \cdot \Delta\Pi = 1,29 \cdot 0,134 = 0,17 \text{ (т.е. 17\%),}$$

Вартість 1 шт. лопатки ($\Pi_{л1}$) із сплаву ЗМІ-3УМ:

$$\Pi_{л1} = \Pi_{л0} \cdot K_{зц} = 28501,17 = 3335 \text{ грн.}$$

6. Річний економічний ефект для споживача:

$$E_{p0} = K_0 \cdot n_0 \cdot \Pi_{л0} = 16 \cdot 80 \cdot 2850 = 3648000 \text{ грн.}$$

$$E_{p1} = K_1 \cdot n_1 \cdot \Pi_{л1} = 10 \cdot 80 \cdot 3335 = 2668000 \text{ грн.}$$

6. Річний економічний ефект для розробника:

$$E_p = E_{p0} - E_{p1} - K_{НДР} = 3648000 - 2668000 - 88442 = 891558 \text{ грн.}$$

7. У подальші роки економічний ефект збільшиться на величину витрат на проведення науково-дослідницької роботи та технологічних випробувань ($K_{НДР} = 88442$ грн.), оскільки витрати будуть виплачені в першому році.

8. У перспективі загальний економічний ефект для розробника складе близько 6772 000 грн. (протягом 7 років), оскільки парк агрегатів ГТК-10И на Україні складає більше 70 одиниць.

Таблиця 5.6 - Техніко-економічні показники доцільності застосування сплаву ЗМІ-ЗУМ легованого танталом

Найменування показників	Базовий варіант	Модернізований	Різниця
1	2	3	4
1.Ресурс безперервної експлуатації лопаток (години)	32000	50000	18000
2.Річна необхідність виготовлення лопаток (шт.)	1280	800	480

Продовження таблиці 5.6

1	2	3	4
3.Ціна лопатки (грн.)	2850	3335	485
4. Ціна 1 тони сплаву (грн.)	122500	158500	36000
5. Річна потреба в сплаві для лопаток (т)	4,0	2,5	2
6.Річний економічний ефект для споживача (грн.)	3648000	2668000	980000
7.Річний економічний ефект для розробника (грн.)	—	891558	—

$$K_{\epsilon} = \frac{891558}{95835} = 9.3$$

Отже, проведення економічних розрахунків підтверджує актуальність даної науково-дослідницької роботи. Доцільність впровадження даної розробки підтверджується проведеними вище розрахунками. Очікуваний річний економічний ефект від впровадження науково-дослідницької роботи (E_p) становить 891558 грн. при витратах на дослідження ($K_{\text{ндр}}$) 95835 грн.

Не зважаючи на підвищення вартості сплаву за рахунок легування танталом в кількості 4% ,економія обґрунтована значним підвищенням

механічних властивостей, а як результат і ресурсу роботи лопаток з розробленого сплаву.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи з охорони праці, при дослідженні впливу танталу на структурну стабільність сплаву ЗМІ-3У

6.1 Аналіз потенційних небезпек

а) можливість ураження електричним струмом, внаслідок порушення правил з електробезпеки, зокрема допуск до виконання робіт осіб, які не пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки, або несправності енергоспоживального обладнання, що може призвести до електричних травм або до летальних наслідків;

б) незадовільна організація робочого місця дослідника у дослідній лабораторії, котра пов'язана з недостатнім врахуванням вимог ергономіки, зараженістю дослідницької лабораторії та нераціональним розташуванням дослідницького обладнання;

в) небезпеки, котрі пов'язані з підготовкою дослідницьких зразків або матеріалу для подальшого проведення досліджень, зокрема можливість отримання механічних травм при нарізці заготовок на відрізному станку та проведенні шліфувально-полірувальних операцій;

г) можливість отримання хімічних опіків при підготовці зразків для досліджень, шляхом травлення у кислотних та лужних середовищах;

г) небезпеки, котрі пов'язані з безпосереднім проведенням випробувань для визначення мікротвердості на приладі ПМТ-3, зокрема можливості механічного травмування;

д) небезпеки пов'язані із негативним впливом іонізуючого випромінювання при дослідженні зразків методом рентгеноструктурного мікроаналізу на дифрактометрі ДРОН-1.

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

є) незадовільні метеорологічні параметри повітряного середовища в приміщенні дослідницької лабораторії, внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітрообміну.

ж) незадовільне освітлення робочих місць дослідницької лабораторії, що може привести до погіршення зору та працездатності;

з) можливість загоряння внаслідок порушення правил пожежної безпеки або коротких замикань, що може привести до пожежі;

и) небезпеки, які пов'язані з умовами праці в надзвичайних ситуаціях зокрема, порядок проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт.

6.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

а) Для запобігання ураження електричним струмом передбачено:

- організаційні заходи: до виконання робіт допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки, та отримали відповідну ДНАОП 1.1.10-1.01-2000 «Правила безпеки експлуатації електроустановок споживачів», групу з електробезпеки (2 група – при напрузі 2000 В, 3 група – при напрузі більше 3000 В). Експлуатацію та ремонт електрообладнання повинен здійснювати тільки спеціально підготовлений

персонал. Для кожного виду обладнання повинні бути складені схеми нормування роботи та роботи в аварійних ситуаціях.

- технічні заходи: усі не ізольовані струмопровідні елементи електрообладнання повинні бути надійно огорожено суцільними огороженнями, зняття або відкриття, яких можливе тільки за допомогою спеціальних пристроїв; розташування струмоведучих ланцюгів виконується на недоступній висоті (при напрузі до 1000 В - не менше 3,5 м; при напрузі більше 1000 В - не менше 6 м); обов'язковим є наявність захисного заземлення з опором не більше 4 кОм.

б) Для виключення негативного впливу факторів, пов'язаних з ергономічністю робочого місця технолога згідно ГОСТ 12.2.032-78 – «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования». Передбачено:

- конструкція та взаємне розташування елементів робочої зони, повинні відповідати характеру роботи, а також антропометричним, фізіологічним та психологічним особливостям технолога;

- як правило, основним приладдям в робочих зонах технолога є комп'ютерний стіл та стілець. Для оптимізації негативних наслідків синдрому статичного навантаження, площа комп'ютерного стола повинна забезпечувати зону повного досягнення. Для запобігання тунельного синдрому, кут згину руки в лікті має бути прямим, оптимальна висота клавіатури відносно поверхні стола не більше 30 мм, при куті підйому від 2 до 15°. Комп'ютерна «миша» не повинна розташовуватися на краю стола, щоб долоня при роботі звисала. Робочий стілець або крісло повинно мати підлокітники, бути поворотним та регульованим за висотою та кутом нахилу спинки.

в) Для запобігання механічних травм при підготовці зразків до випробування механічних властивостей або мікроструктури, необхідно виконувати вимоги інструктажів з охорони праці при роботі на

металообробному обладнанні згідно ДНАОП 1.1.10-1.04-01 «Правила безпечної роботи з інструментом і пристосуваннями», ГОСТ 12.3.028-82 «Процесс обработки абразивными и ельборовым инструментом» зокрема, установка абразивних кіл на верстатах повинна проводитися тільки спеціально проінструктованими наладчиками, використання абразивних кіл з дефектами заборонено, абразивні кола повинні мати штамп або наклейку про випробування, порядковий номер кола і підпис особи, відповідальної за випробування, біля кожного верстата необхідно вивісити табличку із зазначенням допустимої роботи колової швидкості використовуваних кіл і частоти обертання шпинделя верстата в хвилину, при обертанні абразивного кола, виступаючі кінці шпинделя і кріпильні деталі захистити захисними кожухами, підручники повинні мати достатній за величиною майданчик для стійкого положення оброблюваного виробу. Зазор між краєм підручника і робочою поверхнею шліфувального круга повинен бути не більше 3 мм; використовувати індивідуальні засоби захисту зокрема, для виключення травмування органів зору передбачено застосування захисних окулярів.

г) Для запобігання хімічним опікам використовувати індивідуальні засоби захисту:

- окуляри захисні згідно ГОСТ 12.4.001 - 80 «ССБТ. Очки защитные.»;
- фартухи гумові захисні згідно ГОСТ 12.4.029-76 «Фартуки специальные.

Технические условия»

- рукавиці гумові згідно ГОСТ 12.4.103 - 79 «ССБТ. Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты рук и ног»

г) Для запобігання механічних травм в процесі випробування на механічні властивості передбачено виконання інструкцій з техніки безпеки, які стосуються конкретно дослідницького обладнання.

Заходи безпеки при роботі з твердоміром:

оператор повинен дотримуватися правил експлуатації та калібрування приладу зі стандартним блоком до і після випробування. Якщо твердомір використовується рідко, необхідно провести кілька вимірів для стабільної роботи приладу, які не слід враховувати в результаті, і тільки потім проводити робочі заміри;

- вимірювання мікротвердості слід проводити тільки на робочій поверхні.

д) Для безпеки роботи на дифрактометрі ДРОН-1 необхідно закрити місця можливого розсіяння рентгенівських променів захисними свинцевими екранами. При встановленні камер з люмінісцентними екранами для візуального спостереження за юстировкою зразка необхідно користуватися захисним просвинцованим склом. Для забезпечення захисту рук оператора від опромінення при юстировці гоніометра необхідно користуватися подовженими торцевими ключами. При використанні іонізаційного методу реєстрації гоніометр під час роботи має бути закритий ширмою або іншим захисним пристроєм, що забезпечує зменшення інтенсивності розсіяного випромінювання до допустимих величин. При випадковому попаданні в сферу дії іонізуючого випромінювання необхідно негайно відключити аварійну установку від електромережі та повідомити про це відповідального за радіаційну безпеку в університеті та керівника.

е) Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці для приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, офісу, тощо) обладнаного ПК з ВДТ розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МІОУ 06.05.2014 р. за № 472/25249, ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» і НПАОП 0.00-7.15-18

«Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

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 ДК 003:2010 «Національний класифікатор України. Класифікатор професій»: група А - робота зі зчитування інформації з екрана з попереднім запитом; група Б - робота з уведення інформації; група В - творча робота в режимі діалогу із ПК.

Категорії тяжкості й напруженості роботи на ПК визначаються рівнем навантаження за робочу зміну. Розглянемо II категорію роботи по тяжкості й напруженості: для групи А – до 40000 знаків; для групи Б – до 30000 знаків; для групи В – до 4,0 год. безпосередньої роботи на ПК.

При 8-годинній робочій зміні й роботі на ПК регламентовані перерви для другої категорії робіт варто встановлювати 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 щогодини 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 годин роботи, щогодини тривалістю 15 хвилин.

Тривалість безперервної роботи на ПК без регламентованої перерви не повинна перевищувати 2 години. Ефективними є нерегламентовані перерви (мікропаузи) тривалістю 1-3 хвилини.

Регламентовані перерви й мікропаузи доцільно використовувати для виконання комплексу вправ і гімнастики для очей, пальців рук, а також масажу, які наведені у Державних санітарних правилах і нормах роботи з візуальними

дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

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

6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

ж) Для забезпечення задовільних параметрів повітряного середовища робочого простору (температура, вологість, швидкість переміщення повітряних мас) обов'язковими є природна вентиляція, загально обмінна штучна вентиляція, та кондиціонування приміщення згідно ГОСТ 2.2.137-96 «Оборудование для кондиционирования воздуха и вентиляции. Общие требования безопасности», СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование», ГОСТ 30646-99 «Кондиционеры центральные общего назначения. Общие технические условия», ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

з) Вибір системи освітлення залежить від зорових робіт і визначається за Державними будівельними нормами України ДБН В.2.5–28–2006 «Природне і штучне освітлення», ГОСТ 12.2.007.13-2000 ССБТ «Лампы электрические. Требования безопасности», ГОСТ МЭК 60598-2-2-2002 «Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 2. Светильники встраиваемые».

При цьому враховується вимога, що при виконанні в приміщеннях робіт І–ІІІ, IVа, IVб, IVв, Va розрядів слід застосовувати систему комбінованого

освітлення. Використання системи загального освітлення передбачено при технічній неможливості або недоцільності влаштування місцевого освітлення при узгодженні з органами державного санітарного нагляду. При комбінованому освітленні доля загального повинна складати не менше 10%.

В роботі передбачено визначення повітрообміну з урахуванням типу виробничого приміщення та виду виробництва.

Природна вентиляція використовується для нормалізації мікроклімату як у невиробничих так і у виробничих приміщеннях без виділення шкідливих речовин.

Штучна механічна вентиляція застосовується в тих випадках, коли тепловиділення у приміщенні недостатньо для постійного, протягом року, використання природної вентиляції, або коли кількість чи токсичність речовин, що виділилися у повітря приміщення викликали необхідність постійного повітряобміну незалежно від метеорологічних умов навколо середовища.

Загальнообмінна вентиляція забезпечується створенням необхідного мікроклімату та чистоти повітряного середовища у всьому об'ємі робочої зони приміщення.

Місцева витяжна механічна вентиляція забезпечує вловлювання шкідливих виділень безпосередньо в місцях їх виділення, що запобігає поширення цих речовин в приміщенні.

Продуктивність природної вентиляції:

$$L = K \cdot V_n = 2 \cdot 5950 = 11900 \text{ м}^3/\text{год},$$

де k – кратність повітрообміну (відповідно до галузевих норм, кратність повітрообміну в цеху становить $k=2$);

V_n – об'єм приміщення, м^3 .

Об'єм повітря, що відсмоктується витяжним зонтом визначається за формулою:

$$L=a \cdot b \cdot V \cdot 3600=0,54 \cdot 0,7 \cdot 1,5 \cdot 3600=2041 \text{ м}^3/\text{год},$$

де a та b – розміри зонта в плані, м;

V – швидкість руху повітря, яке відсмоктується, в площині перерізу по комірці зонта. Значення V приймається від 0,5 до 1,5 м/с в залежності від конструкції зонта.

Об'єм повітря, що видаляється від витяжних шаф:

$$L=F \cdot V \cdot 3600=5,4 \cdot 0,5 \cdot 3600=9720 \text{ м}^3/\text{год},$$

де F – площа робочого отвору (відкритих проїомів та нещільностей), м^2 ;

V – швидкість руху вилученого повітря через відкриті робочі отвори, м/с. Приймається від 0,5 до 1,7 м/с в залежності від токсичності та леткості газів та парів, що видаляються.

Отже продуктивність природної вентиляції складатиме $11900 \text{ м}^3/\text{год}.$, об'єм повітря, що відсмоктується витяжним зонтом – $2041 \text{ м}^3/\text{год}$, а об'єм повітря, що видаляється від витяжних шаф – $9720 \text{ м}^3/\text{год}$.

6.4 Заходи з пожежної безпеки

и) «Заходи з пожежної безпеки» розробляється відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Розробку заходів з пожежної безпеки починають з аналізу речовин і матеріалів, що використовуються при роботі на об'єкті, з метою визначення класу можливої пожежі (А, В, С, D, F, E) згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж» (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT та категорії його пожежної небезпеки, відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» та СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания». Тобто указати до якої категорії виробництва з пожежної небезпеки (А, Б, В, Г, Д) належить об'єкт (дослідницька лабораторія, конструкторське бюро, дільниця, підстанція, цех, тощо).

Відповідно до категорії виробництва з пожежної небезпеки і вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», указати ступінь вогнестійкості приміщення об'єкта (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, дільниці, підстанції, цеху, тощо).

Відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», передбачити шляхи евакуації працівників на випадок пожежі (переходи, евакуаційні виходи). Указати максимальне видалення від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу згідно п. 2.29 (табл. 2) СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания».

Показати відповідність обладнання, силових і освітлювальних мереж об'єкту (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, офісу, дільниці, підстанції, цеху, тощо), вимогам пожежної безпеки, згідно вимог НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок».

Показати наявність засобів виявлення загорянь і пожеж згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту»:

- автоматичних сигналізаторів про пожежу;

- системи пожежної сигналізації.

З огляду на пожежну небезпеку виробництва, передбачити систему пожежного водопостачання або автоматичного пожежогасіння та первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники різних видів) відповідно до вимог «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», затверджених наказом МВСУ 15.01.2018 № 25 та зареєстрованих в МЮУ 23.02.2018 р. за № 225/31677.

Комплекс протипожежних заходів для виробничого приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) 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 (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ:

- згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж» (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT) у приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ можлива пожежа класів – А (що супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В);

- відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», воно належить до категорії «Д» з пожежної безпеки – простір у приміщенні, у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали.

Оскільки приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнане ПК з ВДТ належить до категорії «Д» з пожежної безпеки, тому відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» воно має II ступінь вогнестійкості.

У разі виникнення пожежі у приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ для евакуації персоналу

відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» передбачені виходи, по обидві сторони приміщення, з одного боку вікно (на пожежні сходи), а з іншого – вхідні двері. Згідно п. 2.29 (табл. 2) СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания», відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу не обмежується.

Обладнання, силові та освітленні мережі приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаного ПК з ВДТ відповідають вимогам пожежної безпеки, оскільки виконані відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок», та мають ступінь захисту ізоляції обладнання IP44 яка відповідає класу пожежонебезпечної зони П-Па до якої належить приміщення.

З технічних та організаційних заходів запобігання пожеж в приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) 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 (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) 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 (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) що обладнане ПК з ВДТ має площу 39 м², тому відповідно до вимог п. 5 розділу VI «Вибір типу та необхідної кількості вогнегасників», «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», затверджених наказом

МВСУ 15.01.2018 № 25 та зареєстрованих в МЮУ 23.02.2018 р. за № 225/31677 для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, передбачені вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-3,5 у кількості 2 штук (з розрахунку один вогнегасник с величиною заряду вогнегасної речовини 3 кг. і більше, на 20 м² площі приміщення). Додатково, на кожному поверсі будівлі, в якій розміщене приміщення обладнане ПК з ВДТ, передбачене два переносних порошкових вогнегасника – ВП-5. Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 10 м.

6.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

і) Найбільшу небезпеку для життєдіяльності виробничого персоналу представляють аварії технічних систем. Причинами аварій можуть бути стихійні лиха, порушення режимів технологічних процесів (недотримання технологічної дисципліни) або правил експлуатації виробничого, енергетичного, транспортного та ін. обладнання, а також правил техніки безпеки.

З особливостей небезпечних аварій слідуює: захисні заходи і, перш за все, прогнозування, виявлення і періодичний контроль за змінами обстановки, оповіщення персоналу підприємства повинні проводитися з надзвичайно високою оперативністю. Локалізація джерела надходження СДОР в навколишнє середовище має вирішальну роль в попередженні масової поразки людей. Швидке здійснення цієї задачі може направити аварійну ситуацію в контрольоване русло, зменшити викид СДОР і істотно знизити збитки.

Захист від СДОР являє собою комплекс заходів, що здійснюються з метою виключення або максимального послаблення поразки персоналу і збереження його працездатності.

Комплекс заходів по захисту від СДОР включає:

- Інженерно-технічні заходи щодо зберігання і використання СДОР;
- Підготовку сил і засобів для ліквідації хімічно небезпечних аварій;
- Навчання їх порядку і правилам поведінки в умовах виникнення аварій;
- Оповіщення про безпосередню загрозу поразки СДОР;
- Тимчасову евакуацію з небезпечних районів;
- Хімічну розвідку району аварії;
- Пошук і надання медичної допомоги постраждалим;
- Локалізацію та ліквідацію наслідків аварії.

Обсяг і порядок здійснення заходів щодо захисту багато в чому залежать від конкретної обстановки, яка може скластися в результаті аварії, наявності часу, сил і засобів для здійснення заходів з захисту та інших факторів.

Всі заходи щодо захисту відображаються в плані захисту об'єкта, який розробляється завчасно з участю всіх головних фахівців об'єкту. План розробляється, як правило, текстуально з додатком необхідних схем, що вказують розміщення об'єкту, сил і засобів ліквідації наслідків аварії, їх організацію і т.д. Він складається з декількох розділів і визначає підготовку об'єкту до захисту та порядок ліквідації наслідків аварії згідно з ДБН В.1.2-4 - 2006 «Інженерно-технічні заходи цивільного захисту (цивільної оборони)».

ВИСНОВКИ

1. При виконанні дипломного проекту було розглянуто сучасний стан теорії і практики в легуванні жароміцних сплавів на нікелевій основі, а також перспективним елементом, таким як тантал.

2. Розглянуто умови експлуатації сучасних жароміцних сплавів, і виходячи з цього, до матеріалів деталей ГТД пред'являються жорсткі вимоги. Матеріал повинен поєднувати комплекс властивостей: опір статичному і циклічному руйнуванню; невелику схильність до крихкого руйнування; низьку чутливість до експлуатаційних перегрівів; втомну і термовтомну міцність при робочих температурах; мінімальну швидкість розвинення тріщин.

3. Зазначено, що для підвищення ККД апарату, необхідно підвищення температури на вході в турбіну, що в свою чергу призводить до необхідності підвищення жаростійкості матеріалу.

4. Відмічено, що сучасні жароміцні нікелеві сплави багатофазні, і службові властивості в процесі експлуатації при високих температурах визначаються, в основному, структурою сплавів і термічною стабільністю їх фазового складу.

5. Показано, що алюміній, титан, молібден, вольфрам, ніобій, тантал, гафній, цирконій підвищують температуру кінця розчинення γ' - фази, підвищуючи її термічну стабільність, а кобальт, хром, вуглець, бор, ванадій, навпаки, її знижують.

6. Проаналізовано вплив легувальних елементів на структурну стабільність та властивості сплавів, та можна зазначити, що вплив танталу недостатньо широко освітлений, що є підставою для перспективних досліджень.

7. Вміст 4% танталу в сплаві ЗМІ-3У є оптимальним з точки зору кращих характеристик міцності. Слід відмітити, що вміст 4% танталу є граничним для багатокомпонентного сплаву ЗМІ-3У середнього рівня легування з точки зору достатнього рівня структурної стабільності відносно ймовірності виділення

шкідливих ТЩУ- фаз несприятливої морфології.

8. Вміст танталу до 4% за масою в сплаві ЗМІ-3У можна оцінити як позитивний, що полягає як в помітному підвищенні характеристик міцності, а також покращення структурної та фазової стабільності, внаслідок помітного зниження дифузійних процесів при тривалому температурному впливі, в порівнянні зі сплавом ЗМІ-3У без танталу [30, 31,36].

9. Вміст танталу 5% за масою і більше в сплаві ЗМІ-3У можна оцінити як негативний, що полягає як в помітному зниженні характеристик міцності, особливо пластичності, а також погіршення структурної та фазової стабільності, внаслідок помітного збільшення структурної неоднорідності, що приводить при тривалому температурному впливі до виділення ТЩУ фаз різного типу несприятливої морфології, в порівнянні зі сплавом ЗМІ-3У без танталу [30, 31,36].

10. Економічний ефект від впровадження даного дослідження в виробництво складає 891558 грн.

11. Розглянуті питання з охорони праці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шалин Р.Е. Монокристаллы никелевых жаропрочных сплавов. М. : Машиностроение, 1997. 336 с.
2. Яцыка С.И. Производство высокотемпературных литых лопаток авиационных ГТД. М. : Машиностроение, 1995. 255 с.
3. Каблов Е.Н. Литые лопатки газотурбинные двигателей (сплавы, технология, покрытия) М. : МИСИС, 2001. 632 с.
4. Патон Б.Е. Жаропрочность литейных никелевых сплавов и защита их от окисления К.: Наук. думка, 1987. 256 с.
5. Каблов Е.Н. Жаропрочность никелевых сплавов. М. : Машиностроение, 1998. 464 с.
6. Котсорадис Д. Жаропрочные сплавы для газовых турбин. *Материалы международной конференции* М. : Металлургия, 1981. - 480 с.
7. Симс Ч.Т. Суперсплавы II. Жаропрочные материалы для аэрокосмических и промышленных энергоустановок. М. : Металлургия, 1995. Кн. 1. 384 с.
8. Толорайя В.Н. Коррозионностойкие жаропрочные сплавы для крупногабаритных монокристалльных турбинных лопаток *.Металловедение и термическая обработка металлов.* 2003. № 1. С. 30-32.
9. Каблов, Е.Н. Монокристаллические ренийсодержащие сплавы для турбинных лопаток ГТД . *Металловедение и термическая обработка металлов.* 2002. № 7. С. 7-11.
10. Толорайя В.Н. Усовершенствованный метод монокристаллического лиття турбинных лопаток ГТД и ГТУ. *Металловедение и термическая обработка металлов.* 2002. № 7. С. 11-16.

11. Бондаренко Ю.А. Направления кристаллизация жаропрочных сплавов с повышенным температурным градиентом. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2002. № 7. С. 20-23.
12. Каблов Е.Н. Производство турбинных лопаток ГТД методом направленной кристаллизации. *Газотурбинные технологии*. 2000. Май-июнь. - С. 10-14.
13. Каблов Е.Н. Перспективы применения литейных жаропрочных сплавов для производства турбинных лопаток ГТД. *Газотурбинные технологии*. 2002. - Январь-февраль. С. 34-37.
14. Левин Е.Е. Перспективне материалы для основных деталей газовых турбин. *Энергомашиностроение*. 1975. № 12. С. 10-13.
15. Каблов Е.Н. Перспективы применения литейных жаропрочных сплавов для производства турбинных лопаток ГТД. *Газотурбинные технологии*. 2002. Январь - февраль. С. 34–37.
16. Никитин В.И. Коррозия и защита лопаток газовых турбин. Л. : Машиностроение, 1987. 272 с.
17. Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» 1932 – 2007. *Юбилейный научно-технический сборник*. ;под общ. ред. акад. РАН Е.Н. Каблова. М. : ВИАМ, 2007. 438 с.
18. Никитин В.И. Влияние состава никелевых сплавов на их коррозионную стойкость в золе газотурбинного топлива. Труды ЦКТИ им. И. И. Ползунова. Л., 1978. Вып. 158. С. 71-74.
19. Паспорт на жаропрочный коррозионностойкий никелевый сплав ЗМИ-3У (ХН64ВМКЮТ). А.Д. Коваль, С.Б. Беликов, А.Г. Андриенко и др. утв. проректор по научной работе Н.С. Гамов. Запорожье, 1995. – 30 с.
20. Арсеньев Л.В. Стационарные газотурбинные установки: справочник. Л. : Машиностроение, 1989. 543 с.

21. Симс Ч.Т. Суперсплавы II. Жаропрочные материалы для аэрокосмических и промышленных энергоустановок. М. : Металлургия, 1995. Кн. 1. 384 с.
22. Симс Ч. Жаропрочные сплавы. – М. : Металлургия, 1976. –568 с.
23. Пигрова Г.Д. Условия образования σ - и μ - фаз в жаропрочных сплавах на никелевой основе. *Физика металлов и металловедение*. 1969. Т. 28. Вып. 5. С. 858-861.
24. Ртищев В.В. Прогнозирование склонности жаропрочных сплавов к выделению ТПУ – фаз. *Труды ЦКТИ им И.И. Ползунова*. Л., 1982. № 194. С. 101-108.
25. Ртищев В.В. Разработка жаропрочных сплавов и оптимизация их составов с помощью ЭВМ. Новые жаропрочные и жаростойкие металлические материалы. – М. : Черметинформация, 1989. – Ч. I. – С. 2-3.
26. Пигрова Г.Д. О методах прогнозирования ТПУ - фаз в сплавах на никелевой основе, применяемых для газовых турбин. *Труды ЦКТИ им. И. И. Ползунова*. Л., 1980. № 177. С. 59-65.
27. Блэнк Д. Количественная металлография. Приборы и методы физического металловедения. М. : Мир, 1973. Вып. 1. - С. 277-331.
28. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. С.А. Салтыков. М. : Металлургия, 1976. 271 с.
29. . Коваленко В.С. Металлографические реактивы: справочник. [3-е изд., перераб. и доп.]. М. : Металлургия, 1981. – 120 с.
30. Гайдук С.В. Особенности влияния тантала на структуру и свойства никелевых сплавов. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. 2004. № 1. С. 16-19.
31. Гайдук С.В., Кононов В.В. Исследование структуры и свойств монокристаллов жаропрочного никелевого сплава с переменной концентрацией

тантала до и после длительного теплового воздействия. *Вестник двигателестроения*. 2005. № 3. С. 150-154.

32. Пат. 77606, Україна, МПК6 С22С 19/05. Ливарний жароміцний корозійностійкий нікелевий сплав. А.Г. Андрієнко, Гайдук С.В., В.В. Кононов, В.Є. Замковий [та ін.] ; заявник і дотримувач Запорізький нац. техн. ун-т ; заявл. 04.08.05, № а 200507748 ; опубл. 15.12.06, Бюл. № 12.

33. Пат. 80699, Україна, МПК6 С22С 19/05. Ливарний жароміцний корозійностійкий нікелевий сплав / А.Г. Андрієнко, С.В. Гайдук, В.В. Кононов, С.Б. Михайлов.; заявник і дотримувач Запорізький нац. техн. ун-т ; заявл. 21.10.04, № 20041008594 ; опубл. 25.10.07, Бюл. № 17.

34. Беликов С.Б., Андриенко А.Г., Гайдук С.В. Литейный жаропрочный коррозионностойкий никелевый сплав для монокристаллического литья методом направленной кристаллизации. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2008. № 1. С. 16-20.

35. Беликов С.Б., Гайдук С.В., Кононов В.В. О влиянии тантала на характеристические точки жаропрочных никелевых сплавов. *Вестник двигателестроения*. 2004. № 3. С. 99-102.

36. Кавкаева Н. В. Основы экономики и технологии важнейших отраслей хозяйства: учебное пособие. М. Берлин: Директ-Медиа, 2015. 236 с.

37 Жидецкий В.Ц. Основы охраны труда. Л.:Афиша, 2000. 351 с.

38. Арустамов Э.А. Охрана труда: Справочник. М.: Дашков и Ко, 2008. 588с.

39. Леонова А.Б. Психология труда и организационная психология: современное состояние и перспективы развития: Хрестоматия. М.: Радикс, 1995. – 448 с.

40. Березуцький В.В., Бондаренко Т.С .Основы охорони праці: Навч. посіб. 2–ге вид.,перероб. і доп. Х.: Факт, 2007. 480 с.

Додаток А

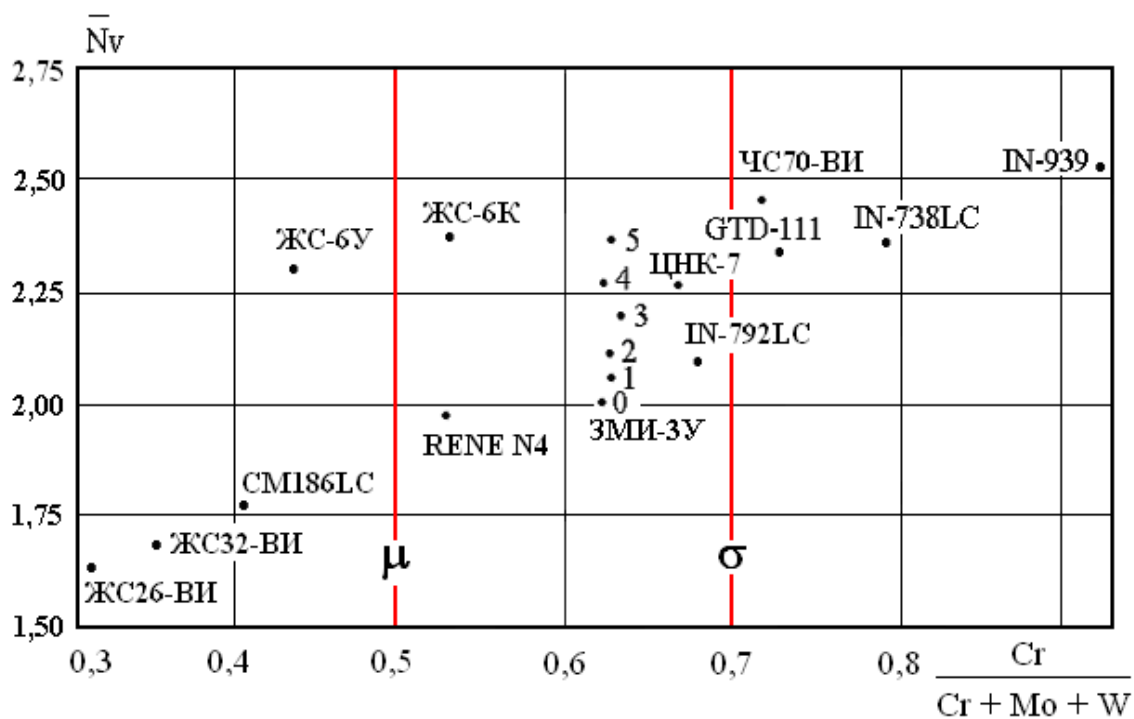
ХІМІЧНИЙ СКЛАД РЕАЛЬНИХ ПЛАВОК ДОСЛІДНИХ СПЛАВІВ

Склад №	Вміст елементу, % за масою									
	C	Cr	Al	Ti	Mo	W	Co	Ta	B	Y
0	0,08	13,3	3,3	4,8	0,8	7,2	5,0	--	0,009	0,03
1	0,07	13,1	3,4	4,7	0,7	6,9	5,1	0,9	0,008	0,03
2	0,07	13,2	3,6	4,6	0,8	7,0	4,9	1,9	0,008	0,03
3	0,08	13,5	3,5	4,6	0,7	6,9	4,8	2,8	0,009	0,03
4	0,06	13,0	3,6	4,4	0,7	7,2	5,0	3,9	0,008	0,03
5	0,07	13,2	3,5	4,5	0,8	7,1	5,1	4,8	0,008	0,03

РОЗРАХУНКОВІ ЗНАЧЕННЯ N_v - ФАКТОРА І ПАРАМЕТРА $Cr / (Cr + Mo + W)$ ДЛЯ КОНКРЕТНИХ ПЛАВОК ДОСЛІДНИХ СКЛАДІВ

Розрахункові параметри	Дослідні склади					
	0	1	2	3	4	5
N_v – фактор	2,01	2,08	2,13	2,20	2,29	2,38
$Cr/(Cr+Mo+W)$	0,62	0,63	0,63	0,64	0,62	0,63

ЗАЛЕЖНІСТЬ УТВОРЕННЯ σ - АБО μ - ФАЗИ В ПРОМИСЛОВИХ НІКЕЛЕВИХ СПЛАВАХ ТА ДОСЛІДНИХ СКЛАДАХ ВІД ВЕЛИЧИНИ $\bar{N}_V$ – ФАКТОРА ТА СПІВВІДНОШЕННЯ $Cr / (Cr+Mo+W)$.



СТРУКТУРА ДОСЛІДЖЕНИХ СПЛАВІВ ПІСЛЯ ТРИВАЛОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ВПЛИВУ ПРИ 850⁰С ПРОТЯГОМ 1000 ГОДИН



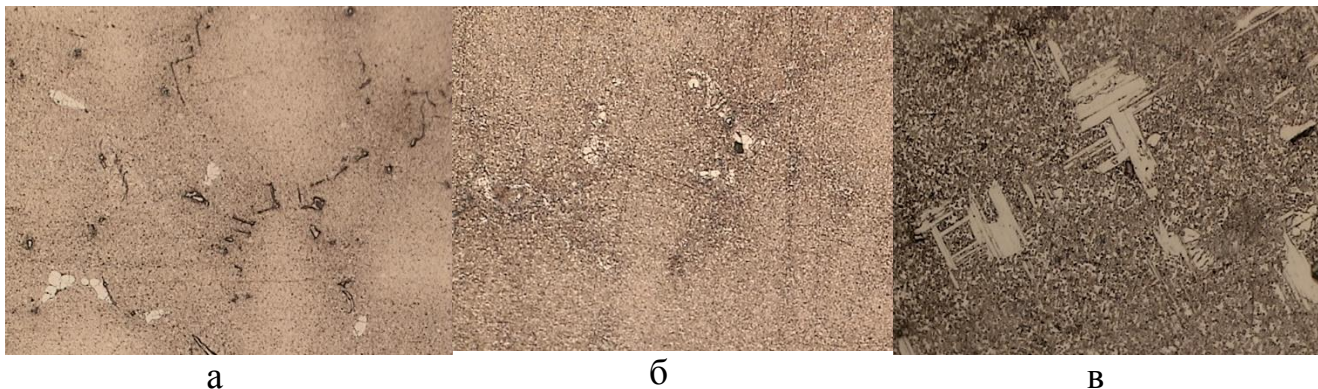
а

б

в

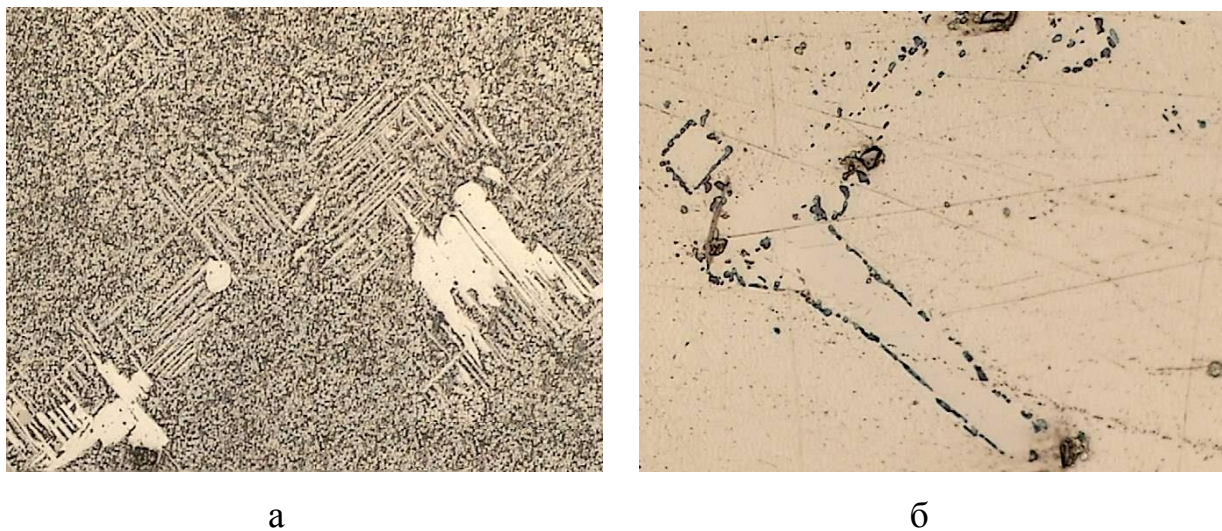
а – сплав ЗМІ-3У без танталу; б- дослідний склад 4 (ЗМІ-3У + 4% Та);
в – дослідний склад 5 (ЗМІ-3У + 5% Та).

СТРУКТУРА ДОСЛІДЖЕНИХ СПЛАВІВ ПІСЛЯ ТРИВАЛОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ВПЛИВУ ПРИ 950⁰С ПРОТЯГОМ 1000 ГОДИН



а – сплав ЗМІ-3У без танталу; б- дослідний склад 4 (ЗМІ-3У + 4% Та);
в – дослідний склад 5 (ЗМІ-3У + 5% Та)

УТВОРЕННЯ ТЩУ - ФАЗ В СТРУКТУРІ СПЛАВУ ЗМІ-3У З ТАНТАЛОМ 5% ЗА МАСОЮ (СКЛАД 5)



а – виділення η- фази на основі Ni_3Ti і Ni_3Ta з евтектики $\gamma + \gamma'$;
б - утворення σ- фази на карбідних частках $Cr_{23}C_6$.

РЕЗУЛЬТАТИ МРСА В РЕЖИМІ КАРТУВАННЯ ДІЛЯНКИ 3
ПЛАСТИНЧАСТИМИ ВИДІЛЕННЯМИ В СТРУКТУРІ СКЛАДУ 5
(ЗМІ-3У + 5% ТА)

