

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-фізичний

(повне найменування інституту, назва факультету)

Фізичного матеріалознавства

(повна назва кафедри)

## Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістр

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему Результати дослідження нікелевих сплавів  
різних схем легування для інструментів гарячого  
деформуваних металів

Виконав: студент \_\_\_ курсу, групи ІФ-213м  
спеціальності (напряму підготовки)

Прикладне матеріалознавство

(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Соловйова А.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник Грабовський В.Я.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Ф.Т.Мурза Ершов А.С.

(прізвище та ініціали)

м.Запоріжжя

2018 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
**Запорізький національний технічний університет**  
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Інженерно-фізичний  
 Кафедра Фізичного матеріалознавства  
 Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) Магістр  
 Спеціальність 132 Матеріалознавство  
 (код і назва)  
 Напрямок підготовки Прикладне матеріалознавство  
 (код і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

Кимов О.В.  
 "12" "12" 2018 року

**ЗАВДАННЯ**  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ**

Соловйова Анна Анатоліївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Результати дослідження нікелевих сплавів різних схем легування для інструментів гарячого деформування металів.

керівник проекту (роботи) Гравовський Володимир Якович,  
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "18" 10 2018 року № 264

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 30.12.18р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Умови експлуатації пресових інструментів, загальні характеристики сплавів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Нікелі сплави, матеріали та методи досліджень, результати досліджень та вибору нікелевих сплавів з раціональним профілем, охорока праці та безпека у надзвичайних ситуаціях, термічна частинка економічна частинка, висновки.

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

м.л. №1 Хімічний склад нікелевих сплавів; м.л. №2 Рівняння регресії; м.л. №3 Механічні властивості сплавів на основі нікелю при різних температурах випробування; м.л. №4 Результати досліджень нікелевих сплавів на гаряче згинувальні; м.л. №5 Залежність зореної твердості від температури випробування; м.л. №6 Рівні легування та матрица плачування сплавів.

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Нікелеві сплави	Грабовський В.Я К.Т.Н доцент		
Методика досліджень	Грабовський В.Я К.Т.Н доцент		
Результ. досліджень	Грабовський В.Я К.Т.Н доцент		
Розробка т.о	Грабовський В.Я К.Т.Н доцент		
Екологіч. часі	Круглікова В.В К.Р.Н, доцент	24.09.18	5.12.18
Охорона праці	Нестров О.В. К.Т.Н доцент.		
Н. контроль	Ткач Д.В. К.Т.Н. доцент.		

7. Дата видачі завдання

01.10.18

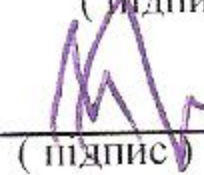
## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Реферат, вступ.	18.10.18 - 24.10.18	
2	Нікелеві сплави, Перспектива використання нікелевих сплавів, Роль легувальних елементів в нікелевих сплавах, Вплив термічної обробки на властивості.	24.10.18	
3	п.п. 1,4; 1,5; розділ 2. Матеріали та методики досліджень	31.10.18	
4	Випробування на гноту зношування	11.11.18	
5	Результати досліджень та видору нікелевих сплавів раціональним легуванням	28.11.18	
6	Економічна частиня	29.11.18	
7	Охорона праці на безпекі у надзвичайних ситуаціях	3.12.18.	
8	Розробка результатів та психології термічної обробки.	12.12.18	
		13.12.18	
		14.12.18.	

Студент


  
(підпис)
Соловйова А.А.  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)


  
(підпис)
Грабовський В.Я.  
(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Нікелеві сплави.....	7
1.1 Перспектива використання нікелевих сплавів для інструментів гарячого деформування .....	7
1.2 Роль легувальних елементів в нікелевих сплавах.....	9
1.3 Вплив термічної обробки на властивості нікелевих сплавів.....	19
1.4. Досвід використання сплавів на основі Ni для виготовлення пресового інструменту.....	23
1.5 Мета та постановка задачі .....	25
2 Матеріали та методики досліджень.....	27
2.1. Хімічний склад та технологія отримання сплавів .....	27
2.2 Виготовлення та термічна обробка зразків для досліджень.....	28
2.3 Механічні випробування .....	29
2.4 Дослідження мікроструктури .....	29
2.5 Використання методики математичного планування експерименту ....	30
2.6 Випробування на гаряче зношування .....	32
3 Результати досліджень та вибору нікелевих сплавів з раціональним легуванням .....	34
3.1 Вибір схеми легування та матриці планування експерименту .....	34
3.2 Особливості мікроструктури досліджень сплавів .....	35
3.3. Результати механічних випробувань .....	36
3.4 Вибір раціонального легування сплавів для пресових матриць .....	39
4 Розробка режиму та технології термічної обробки .....	42
5 Економічна частина .....	49
5.1 Характеристика ринку штампових сталей .....	49
5.2 Розрахунок кошторису витрат на проведення науково-дослідницької роботи .....	51
6 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	58

6.1 Аналіз потенційних небезпек.....	58
6.2 Заходи по забезпеченню безпеки.....	59
6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці .....	63
6.4 Заходи з пожежної безпеки .....	66
6.5 Заходи з цивільної оборони.....	68
Висновки .....	73
Перелік посилань.....	75

## РЕФЕРАТ

П.З.:74ст., 16рис., 12табл., 27джерел.

Об'єктом дослідження є сплави на основі нікелю, які зміцнюються  $\gamma'$ -фазою типу  $Ni_3(Al,Ti)$ , що призначені для виготовлення інструментів для гарячого пресування.

Мета роботи – вибір раціонального легування нікелевих сплавів для виготовлення інструментів гарячого пресування металів.

В роботі використовуюся стандартні методики досліджень та випробувань (випробування для визначення механічних властивостей, металографічні та електронно – мікроскопічні дослідження).

З використанням методики математичного планування експерименту обрано склад сплаву на основі нікелю з ГЦК – краткою, що зміцнюється  $\gamma'$ -фазою типу  $Ni_3(Al,Ti)$ . Раціонально легований сплав має в 1,5 – 2,5 рази вищі характеристики високотемпературної міцності та твердості порівняно з серійними високотелостійкими штамповими сталями. Використання даного сплаву дозволяє підвищити ресурсоспроможність матриць для гарячого пресування у 8 разів.

НИКЕЛІВІ СПЛАВИ З ГЦК - ГРАТКОЮ,  $\gamma'$ -ФАЗА ТИПУ  $Ni_3(Al,Ti)$ , МАТРИЦЯ ПЛАНУВАННЯ, РІВНЯННЯ РЕГРЕСІЇ, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, МІКРОСТРУКТУРА, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, РАЦІОНАЛЬНЕ ЛЕГУВАННЯ, ПРЕСОВІ МАТРИЦІ, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, ОХОРОНА ПРАЦІ

## ВСТУП

Актуальність даної роботи обумовлена існуванням проблеми вибору матеріалу для штампових інструментів, які експлуатуються при високих температурах. В цьому напрямку постійно ведуться дослідження, пропонуються нові матеріали, але все одно проблема залишається оптимально не вирішеною, особливо при виготовленні матриць для гарячого пресування сталей, мідних та нікелевих сплавів.

Серійні штампові сталі мартенситного класу з карбідним або інтерметалідним зміцненням внаслідок обмеженої теплостійкості зберігають працездатність до температур 650-700°C. При гарячому пресуванні металів температури розігріву інструментів, зокрема, матриць, сягають 750-850°C та вище[1]. Сталі мартенситного класу при таких температурах інтенсивно знеміцнюються, що стає основною причиною швидкого зношення інструменту. Більш ефективним в таких випадках є використання для матриць гарячого деформування сталей та сплавів на основі ГЦК ґратки, які зміцнюються  $\gamma'$ - фазою. Температура експлуатації таких сплавів сягає вище 750°C, що в свою чергу забезпечує більшу працездатність пресового інструменту.

Викладене обумовлює доцільність виконання даної роботи з метою вибору раціонального легування сплаву на основі ГЦК ґратки для виготовлення інструментів гарячого пресування металів.

## 1 НІКЕЛЕВІ СПЛАВИ

### 1.1 Перспектива використання нікелевих сплавів для інструментів гарячого деформування

Основними операціями гарячого деформування є: об'ємне штампування, пресування, вільне кування на молотах. Найбільш навантажені з них – операції пресування, висадки та точного штампування.

Для гарячого деформування використовують гідравлічні преси, штампувальні молоти та кривошипні машини різноманітних конфігурацій. Швидкість деформування при штампуванні на молотах значно вища ніж при штампуванні на кривошипних машинах. Для перших вона складає 5-8 м/с, для других 0,5-1 м/с.

Інструментам для гарячого деформування властиві такі особливості [1-3]:

- високий розігрів в процесі роботи, температура поверхневих шарів (товщиною до 0.6-1,0мм) штампових інструментів швидкісних молотів та пресів може сягати при штампуванні жароміцних та інших матеріалів, що важко деформуються 650-750 °С. При деяких процесах гарячого пресування поверхневий шар робочих частин інструментів глибиною до декількох мікрон розігрівається до 900-1000°С;

- одночасна взаємодія температур та тисків, що циклічно змінюються і накладання «робочих» (обумовлених опором деформуванню матеріалу заготовок) та термічних навантажень у поєднанні з конструктивно неминучими (різкі переходи, місцеві поглиблення тощо) та технологічними концентраторами сприяє виникненню в тілі штампу важкого напруженого стану;

- великі питомі навантаження на інструмент, які залежать від виду матеріалу, що штампується, температури нагрівання, конфігурації деталі, якості змащування, ступеня видалення окалини, величини зношування штампу. Штампові сталі за рівнем основних властивостей поділяються на:



помірної теплостійкості – до 500°C;(5ХНМ,5ХНВ)підвищеної теплостійкості та в'язкості до 620°C (4Х4ВМФС, 3Х3М3Ф, 3Х2В8Ф);високої теплостійкості до 750 °С, (5Х3В3МФС, 2Х6В8М2К8).  
Всі ці сталі є сталями мартенситного класу

Розглянуті штампові сталі на основі  $\alpha$  – заліза з карбідним або інтерметалідним зміцненням не забезпечують необхідної стійкості інструментів, якщо при експлуатації вони нагріваються вище 730 – 750°C. Наприклад, це відбувається при гарячому пресуванні міднонікелевих та нікельмолібденових сплавів, високоміцних, неіржавіючих та жароміцних сталей та сплавів. Серійні високотеплостійкі штампові сталі швидко знеміцнюються при нагріванні вище 750°C, оскільки при наближенні до  $A_{C1}$  в них пришвидшуються дифузійні процеси. Таким чином максимальні температури експлуатації для даної групи сталей визначаються як  $(0,7 - 0,8)T_{\alpha \rightarrow \gamma}$  [4].Оскільки наявність поліморфного перетворення є принциповим бар'єром для використання серійних високотеплостійких штампових сталей, більш ефективним є використання, які інструментальних матеріалів, сталей та сплавів на основі ГЦК гратки, тобто сплавів на основі нікелю.

Аустенітні сталі типу ХН35ВТЮ зміцнюються при старінні внаслідок виділення  $\gamma'$ -фази  $Ni_3(Al, Ti)$ , а сталь 4Х15Н12М2С2Ю зміцнюється  $\gamma'$ -фазою та карбідами типу  $M_{23}C_6$  та  $M_6C$ . Термічна обробка включає нагрівання під гартування до 1150-1180°C, охолодження на повітрі або в воді та старіння при 750-800°C тривалістю 8-12 годин. В сплавах на основі нікелю типу ХН70ВМТЮ основними фазами-зміцнювачами є  $\gamma'$ -фази. Нагрівання цих сплавів для гартування проводять при більш високих температурах: 1180-1200°C та старіння 800-850°C. Охолодження в обох випадках здійснюють на повітрі[5-6].

## 1.2 Роль легувальних елементів в нікелевих сплавах

Нікель відноситься до перехідних металів першого періоду в періодичній системі Д.І. Менделєєва та розташовується в VIIIА підгрупі разом з залізом і кобальтом. Нікель має ГЦК ґратку з періодом 0,352387 нм.

Чистий нікель має наступні механічні властивості:  $\sigma_B = 280\text{--}300\text{ МПа}$ ;  $\delta = 40\text{--}50\%$ , а полуфабрикатний відпалений нікель НП4  $\sigma_B = 400\text{--}500\text{ МПа}$ ;  $\sigma_{0,2} = 220\text{ МПа}$ ;  $\delta = 35\text{--}40\%$ ;  $\psi = 70\%$ ;  $K_{CU} = 1,8\text{ МДж/м}^2$ .

Нікель має високу корозійну стійкість в атмосферних умовах в порівнянні з іншими технічними металами, що обумовлено утворенням на його поверхні тонкої та міцної захисної плівки. Нікель має достатню стійкість не лише в прісній, але і в морській воді[7].

Нікель утворює необмежені тверді розчини з найближчими до нього в першому періоді сусідами: міддю, кобальтом, залізом і марганцем. При високих температурах в нікелі у великих концентраціях (до 35-40 %) розчиняються багато тугоплавких металів (Cr, V, Mo, Ta, W); значну максимальну розчинність в нікелі (від 2,5 до 20 %) мають алюміній, титан, ніобій, берилій і кремній. Із зниженням температури розчинність легувальних елементів, що утворюють з нікелем обмежені розчини, зменшується, що створює передумови дисперсійного зміцнення.

Із подвійних систем на основі нікелю найбільш цікавими є Ni–Cr, Ni–Al и Ni–Ti [6]. У системі Ni - Cr (рис.1.1), що відноситься до евтектичного типу, утворюються тверді розчини як на основі нікелю, так і хрому. Із зниженням температури область обмеженого твердого розчину зменшується, але навіть при кімнатній температурі розчинність хрому в нікелі зберігається досить великою (~30 % Cr).

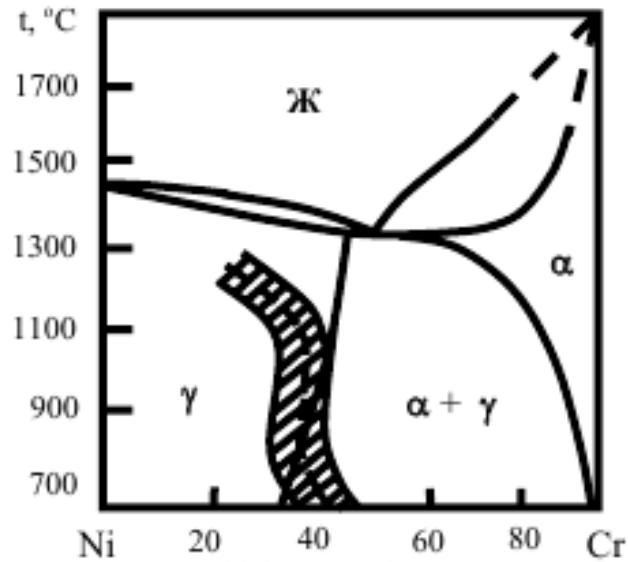


Рисунок 1.1 – Діаграма стану системи Ni–Cr. Заштрихована область відповідає сплавам із максимальним опором повзучості при різних температурах [6]

В системі Ni - Al з боку нікелю спостерігається евтектична рівновага (рисунок 1.2). Розчинність алюмінію в нікелі зменшується з 11 % при евтектичній температурі (1385°C) до приблизно 6 % Al при температурі 750°C. У цій системі в рівновазі з  $\gamma$ -твердим розчином на основі нікелю утворюється  $\gamma'$ -фаза, яка уявляє собою розчин на основі інтерметаліду  $Ni_3Al$  з ГЦК-граткою.

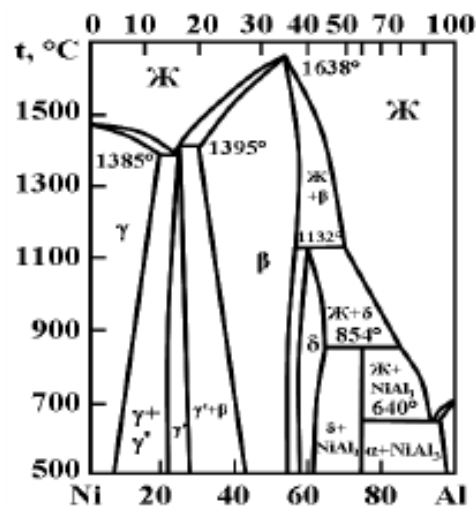


Рисунок 1.2 – Діаграма стану Ni – Al[6]

В системі Ni - Ti (рис. 1.3) при температурі 1304°C також відбувається евтектичне перетворення. Розчинність титану в нікелі зменшується з 11,6 % Ti при евтектичній температурі до 8 % Ti (по масі) при температурі 750°C. В рівновазі з  $\gamma$ -розчином знаходиться  $\eta$ -фаза – твердий розчин на основі інтерметаліду  $Ni_3Ti$  з ГЦК – ґраткою.

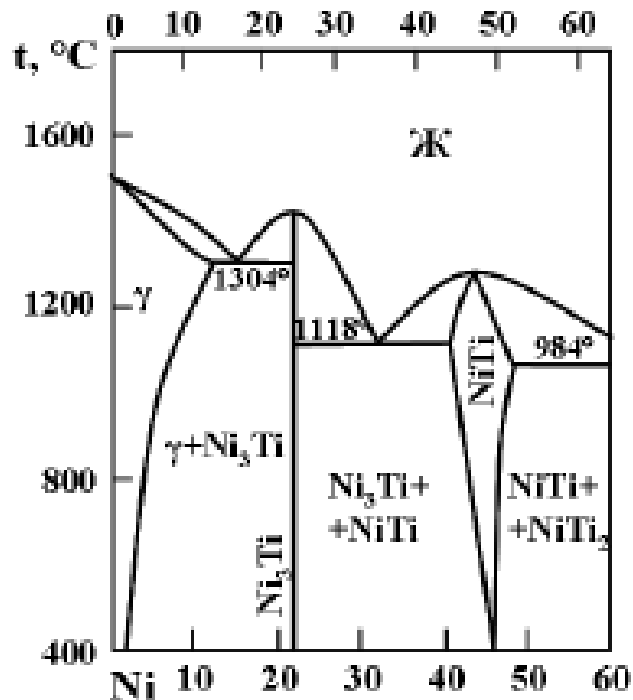


Рисунок 1.3 – Діаграма стану Ni – Ti [6]

Окрім хрому, алюмінію і титану жароміцні сплави на основі нікелю можуть містити ще 9-10 легувальних елементів, які за характером взаємодії з нікелем можна розбити на три групи. Перша група складається з елементів, що входять в  $\gamma$ -твердий розчин (їх називають  $\gamma$ -стабілізуючими елементами): до цих елементів відносять метали V - VIIIА підгруп періодичної системи (V, Nb, Cr, Mo, W, Re, Fe, Co). Другу групу складають елементи, що сприяють утворенню  $\gamma'$ - фази: в неї входять елементи III - VA підгруп (Al, Ti, Ta). В той же час алюміній і титан в декотрій мірі розчиняються і в  $\gamma$ -фазі. Тантал і ніобій, як і титан, можуть заміщувати алюміній в з'єднанні  $Ni_3Al$ . Третя група представлена елементами, що сегрегують на межах зерен; це елементи підгруп IIА, IIIА,

IVB, що сильно відрізняються від нікелю за розмірами атомів, а саме, магній, бор, вуглець, цирконій, церій. Крім того, в нікелевих сплавах розрізняють карбідоутворюючі елементи (Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W) і елементи, що утворюють стійкі оксиди (Al, Cr), що захищають метал від дії агресивного середовища. Карбідоутворюючі елементи утворюють карбіди типу  $MeC$ ,  $Me_6C$ ,  $Me_{23}C_6$  та ін. В структурі жароміцних нікелевих сплавів зустрічаються також карбонітриди, борид типу  $Me_3B_2$  і деякі інші з'єднання. Нікель не утворює стійких карбідів. Розчинність вуглецю в нікелі складає 0,65% при температурі евтектики (1318°C) і різко зменшується зі зниженням температури. У нікелі зустрічається досить багато домішок, які можна розділити на дві групи : а) розчинні в нікелі (Al, Mn, Fe, Cu, Zr, Sn, Si, Sb, As); б) практично нерозчинні в твердому розчині нікелю (S, O, P, Bi, Pb, Mg, Cd), температурна залежність розчинності легувальних елементів вказана на рисунку 1.4.

Незважаючи на складність легування жароміцних сплавів на основі нікелю, можна сформулювати наступні основні принципи, що використовують при їх створенні.

Жароміцні сплави уявляють собою основний  $\gamma$ -твердий розчин на хромонікелевій основі, легований кобальтом та тугоплавкими зміцнювальними елементами (Mo, W, Nb), причому найефективніше впливає на жароміцність саме комплексне введення легувальних елементів. Зміст цих легувальних елементів в сплаві залежить від його призначення та економічної доцільності.

У сплавах обов'язково присутній титант алюміній (сумарно до 8-10 %), які в основному забезпечують утворення головної зміцнювальної фази цих сплавів  $\gamma'$ -фази типу  $Ni_3(Al, Ti)$ .

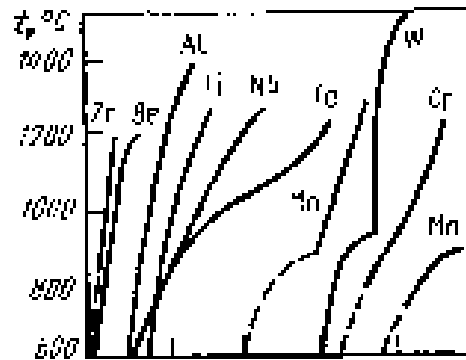


Рисунок 1.4 – Температурна залежність розчинності легувальних елементів в нікелі [8]

При виділенні упорядкованої фази типу  $Ni_3Al$  в сталях на основі Fe-Ni, зберігають рівноважну кубічну форму при розміру частинок –  $500 \text{ \AA}$ . Інтерметалідна  $\gamma'$ - фаза, що виділяється при старінні із твердого розчину, має унікальні властивостями і вносить значний вклад у зміцнення. Як і твердий нікелевий або залізонікелевий розчин, вона має ГЦК структуру і виділяється когерентно. Міцність  $\gamma'$ - фази збільшується із ростом температури, а її пластичність не дає їй стати джерелом руйнування. Опір повзучості нікелевих сплавів залежить від морфології виділених інтерметалідів і їх об'ємної частки рис.1.5.

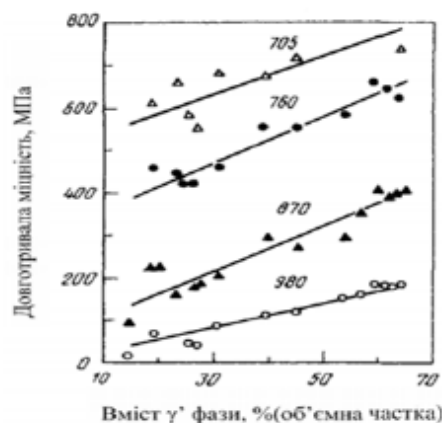
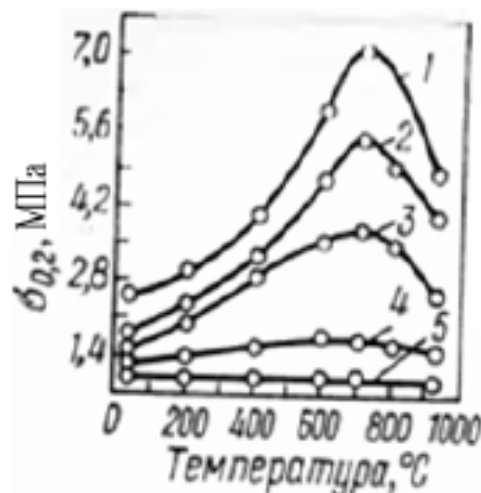


Рисунок 1. 5 - Вплив об'ємної частки  $\gamma'$ -фази на довготривалу міцність, на базі 100 годин для жароміцних нікелевих сплавів, де числа біля ліній це температури випробувань, °C [9]

Чим дрібніші виділення і менша відстань між ними, тим вищий опір повзучості. Об'ємні частки виділень  $\gamma'$ - фази в нікелевих сплавах більші, ніж у жароміцних аустенітних сталях.

Нікелеві сплави, об'ємна частка  $\gamma'$  фази в яких перевищує 50%, вже не можливо піддавати гарячій деформації звичайними методами, і вироби із них отримують методом точного лиття [10].

Встановлено [10], що як моно-, так і полікристали нелегованої  $\gamma'$ -фази мають схильність до збільшення напруження плинності в інтервалі температур відкімнатної до 800 °С, що показано на рис. 1.6.



1 – 10<sup>-2</sup>; 2 – 10<sup>-3</sup>; 3 – 10<sup>-4</sup>; 4 – 10<sup>-5</sup>; 5 – 10<sup>-6</sup>

Рисунок 1.6 – Збільшення границі плинності  $\gamma'$ -фази типу  $Ni_3(Al,Ti)$  при збільшенні температури для різних ступенів деформації

Величину та температурне положення піка напруження плинності  $\gamma'$ -фази можна змінювати легувальними елементами, такими як титан, хром і ніобій. Між збільшенням значення напруження плинності та зміни температурного піку немає простого зв'язку. Тантал, ніобій та титан – ефективні зміцнювальні елементи твердого розчину  $\gamma'$ -фази при кімнатній температурі. Вольфрам та молібден зміцнюють  $\gamma'$ - фазу як при кімнатній, так і при підвищених температурах, а кобальт не зміцнює  $\gamma'$ -

фазу в складі твердого розчину. З рис. 1.6 видно, що при низьких значеннях деформації напруження плинності не залежить від температури в інтервалі 230 – 925 °С. Ці дані свідчать про те, що дислокації в  $\gamma'$ - фазі починають рухатися при постійному напруженні незалежно від температури, але при збільшенні температури спостерігається підвищення деформаційного зміцнення. Останнє можна пояснити взаємодією дислокацій типу  $\langle 100 \rangle$  і  $\langle 110 \rangle$  [10].

Присутні в сплавах хром і алюміній забезпечують опір окисленню та газовій корозії, внаслідок утворення захисних плівок, багатих оксидами  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  і  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Вуглець міститься в сплавах в невеликих кількостях (зазвичай 0,08-0,12 %), утворюючи карбіди і карбонітриди. Істотно впливає також бор, який вводиться в сплави у кількості 0,005-0,015 % В та утворює борид типу  $\text{MeB}_2$  при збільшенні кількості. Кінетика виділення і морфологія карбідних і фаз бориду при кристалізації, термічній обробці та в процесі експлуатації також в значному ступені визначає жароміцність сплавів на нікелевій основі.

Важливе значення мають в нікелевих сплавах легкоплавкі домішки (Pb, Cd, Ag, Bi, Sb, S), зміст яких слід обмежувати, оскільки вони знижують їх жароміцні та технологічні властивості. Зменшення кількості домішок можливо завдяки застосуванню чистих шихтових матеріалів, введенню рідкісноземельних металів і обробці розплавів спеціальними шлаками, застосуванням різних методів спеціальної металургії (ЕШП, ЕЛП тощо).

Таким чином, жароміцність, жаростійкість і інші характеристики сплавів на нікелевій основі пов'язані з оптимізацією їх складу по співвідношенню легувальних елементів, що входять в матричний  $\gamma$ -твердий розчин та зміцнюючі інтерметалідні, карбідні і боридні фази, а також з певним рівнем вмісту шкідливих легкоплавких домішок.



В сплави, які працюють при температурах 750-850°C протягом тривалого часу, вводиться підвищена кількість хрому (16-18%), молібдену та вольфраму (до 10-12% сумарно), титану, ніобію та алюмінію (8-10% сумарно). Це дає можливість отримати велику кількість зміцнювальної  $\gamma'$ - фази, високу легованість та жароміцність матриці. Для високотемпературної (більше 1000°C) роботи важливо підвищення солідусу сплаву. Тому в сплавах обмежують вміст хрому (6-10%), молібдену (3-4%) та титану.

Багато досліджень вказують на позитивний вплив РЗМ на жароміцність нікелевих сплавів. Розглянемо вплив основних легувальних елементів окремо.

При легуванні нікелю 20% хромом тривала міцність підвищується на 25–30% за рахунок збільшення сил міжатомного зв'язку. Хром, переважно розчиняється в  $\gamma$ -фазі, має позитивний вплив на жароміцність при температурі 700–750°C. При вищих температурах хром прискорює дифузійні процеси.

Алюміній підвищує жароміцність (рис.1.5) як в подвійній системі так і в багатокомпонентних системах на основі нікелю. Позитивний вплив алюмінію зумовлений формуванням зміцнювальної  $\gamma'$ -фази ( $\text{Ni}_3\text{Al}$ ).

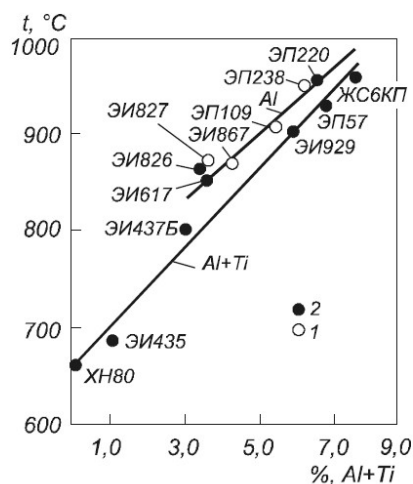


Рисунок 1.7 – Вплив Al (1) та сумарного вмісту Al та Ti (2) в нікелевих сплавах на температуру, яка відповідає  $\sigma_{100} = 200 \text{ МПа}$  [9]

Об'ємна кількість  $\gamma'$ -фази складає:  $\sim 5\%$  при вмісті алюмінію  $0,6\%$ ;  $\sim 25\%$  при вмісті алюмінію  $1,7\%$ ;  $\sim 42\%$  при вмісті алюмінію  $4\%$ . Збільшення кількості  $\gamma'$ -фази підвищує жароміцність нікелевих сплавів (рис.1.7). Проте надмірне легування алюмінієм (понад  $3-4\%$ ) призводить до погіршення технологічної пластичності нікельхромових сплавів, ускладнюється обробка тиском.

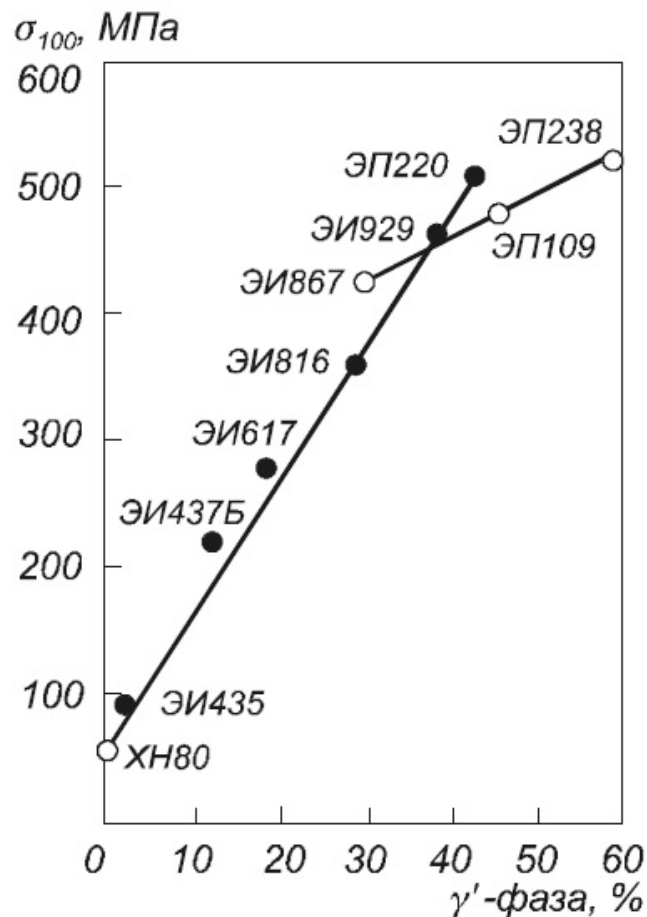


Рисунок 1.8 – Вплив кількості  $\gamma'$ - фази на довготривалу міцність нікелевих сплавів ( $\tau = 100$  год) [11]

#### Легування титаном $2,5-3,0\%$

нікельхромових сплавів сприяє утворенню дисперсних частинок інтерметаліда  $Ni_3Ti$ , це підвищує жароміцність і збільшує тривалу міцність  $\sigma_{100}^{800} = 150 \text{ МПа}$ , проте робочі температури нижчі за сплав з частинками  $Ni_3Al$ . Це пов'язано із значною невідповідністю параметрів ґраток матриці та фази.

основі сполуки  $\text{Ni}_3\text{Ti}$ .

При підвищених температурах відбувається інтенсивна коагуляція цих частинок.

Сумарний вміст алюмінію та титану в сучасних жароміцних деформівних сплавах сягає 7–9%

(підвищення вмісту цих елементів суттєво ускладнює здатність до деформації сплавів), в ливарних – 12%.

В сплавах на основі нікелю залізо не є основним легувальним елементом. Його присутність може бути пояснена можливістю використання для легування замість хрому більш дешевого ферохрому. Якщо температура експлуатації не перевищує 700–750°C вміст заліза може сягати 5–8%, в складнолегованих сплавах з високою робочою температурою залізо погіршує жароміцність, тому його вміст не повинен перевищувати 1–2%.

Кобальт входить до складу  $\gamma'$ -фази, заміщує позиції нікелю, проте більша його частина знаходиться в  $\gamma$  твердому розчині. Кобальт підвищує температуру повного розчинення  $\gamma'$ -фази в матриці, що поліпшує жароміцність. Кобальт підвищує пластичність та в'язкість, покращує технологічну пластичність. В деформівних сплавах його вміст сягає 15–20%, в ливарних – 10%.

Ванадій, ніобій, тантал легують  $\gamma'$ -фазу, зміцнюють  $\gamma$ -твердий розчин та формують карбіди.

Вольфрам розподіляється між  $\gamma$  та  $\gamma'$ -фазами, гальмує розвиток в них дифузійних процесів, підвищує жароміцність. Молібден, переважно, присутній в матриці, забезпечує твердорозчинне зміцнення. Проте при підвищених температурах надлишок молібдену прискорює розвиток ВТК, цей елемент, разом з хромом, вольфрамом, входить до складу ТЩУ-фаз, тому його вміст в високожароміцних нікелевих сплавах обмежують.

В нікелевих сплавах міститься вуглець, що утворює карбіди титану, хрому, в присутності азоту – карбонітриди. Карбідні фази можуть мати як

позитивний так і негативний вплив на властивості сплавів, в залежності від природи, форми та розподілу цих фаз. Карбонітрид  $Ti(C,N)$  знижує пластичність та в'язкість при виділенні у вигляді видовжених частинок. В той же час, він є модифікатором, подрібнює зерно, підвищує густину відливки, зменшує схильність до міжкристалічної пористості [11].

### 1.3 Вплив термічної обробки на властивості нікелевих сплавів

Основний принцип легування жароміцних сплавів полягає в необхідності багатокомпонентного легування, спрямованого на вдосконалення гетерофазної будови з отриманням дрібних включень зміцнювальних фаз, а також на підвищення міцності і стабільності поверхонь розділу зерен, фаз і інших меж в металі [12].

У нікелевих сплавах оптимальне поєднання кількості, форми, розмірів і розподіл зміцнювальної фази досягається термічною обробкою, що складається із гартування і старіння. Температура нагріву під гартування має бути достатньо високою для якнайповнішого розчинення  $\gamma'$ - фази. Вона зазвичай змінюється від  $1080^{\circ}C$  до  $1220^{\circ}C$  залежно від складу сплаву. Чим вище температури повного розчинення  $\gamma'$ - фази, тим більше жароміцні характеристики сплаву. Гартування нікелевих сплавів зазвичай здійснюють охолодженням на повітрі.

У ряді випадків застосовують подвійне гартування, що складається з охолодження на повітрі з температур вище сольвуса і повторного гартування з нижчих температур ( $1000-1050^{\circ}C$ ). Мета першого ступеня гартування полягає в переводі в пересичений  $\gamma$ -твердий розчин як можна більшої кількості зміцнювальних фаз. При нагріванні під повторне гартування виділяються та коагулюють карбіди, а виділення  $\gamma'$ - фази при обраній тривалості нагрівання не відбувається, оскільки ці температури близькі до сольвусу для  $\gamma'$ - фази, у зв'язку з чим термодинамічний стимул

розпаду за схемою  $\gamma \rightarrow \gamma'$  дуже малий. У сплавах з великою кількістю  $\gamma'$ - фази (45-50 %) при нагріванні під повторне загартування по межах зерен  $\gamma$ -фази, окрім карбідів, виділяються також великі частки  $\gamma'$ - фази, що ускладнює зернограничну повзучість і підвищує жароміцність після остаточної зміцнювальної обробки. Подвійне гартування забезпечує більш високі пластичні властивості зістарених сплавів в порівнянні з одинарним гартуванням. Карбіди, що виділяються при 1000-1050°C, рівномірно розподіляються за об'ємом. Якщо повторне гартування не здійснювати та проводити старіння після високотемпературного гартування, то карбіди утворюють суцільну сітку по межах зерен, чим знижують пластичність.

Загартований  $\gamma$ -твердий розчин неоднорідний, в процесі охолодження на повітрі в нім відбувається перерозподіл легувальних елементів та утворюються збагачені алюмінієм і титаном області розміром від 8 до 100 нм. У складнолегованих сплавах, а також в сплавах з високим вмістом алюмінію навіть при охолодженні у воді відбувається частковий розпад пересиченого  $\gamma$ -твердого розчину за схемою  $\gamma \rightarrow \gamma'$  з виділенням тонкодисперсних часток зміцнювальної фази.

Подальше старіння проводять при температурі, вище очікуваній в умовах експлуатації або, принаймні, рівній робочій температурі. Температура старіння складає від 700 до 950°C залежно від складу ва сплаву. В процесі старіння з пересиченого  $\gamma$ -твердого розчину виділяється  $\gamma'$ - фаза. Якщо частковий розпад  $\gamma \rightarrow \gamma'$  пройшов вже на стадії охолодження, то частинки, що виділилися раніше, укрупнюються і, окрім цього, утворюються нові частинки.

Жароміцні нікелеві сплави часто піддають ступеневому старінню, причому температура другого ступеня дещо нижча, ніж першого. Мета ступінчастого старіння - забезпечення можливого повнішого виділення  $\gamma'$ - фази. Збільшення кількості  $\gamma'$  – фази при другому ступені старіння відбувається в результаті зростання часток, що утворилися на першому ступені старіння. В результаті повнішого виділення  $\gamma'$ - фази ступеневе

старіння забезпечує більш високі характеристики міцності і жароміцності в порівнянні з одинарним старінням.

За формування дисперсної структури високолегованих жароміцних нікелевих сплавів відповідальні всі етапи термічної обробки.

Структура і механічні властивості жароміцних нікелевих сплавів, що деформуються, багато в чому залежать від певного поєднання режимів обробки тиском і термічної обробки. Для жароміцних нікелевих сплавів, що деформуються, найбільший інтерес представляють два варіанти технологічних процесів, які включають взаємозв'язані деформаційні механізми і структурні (фазові) перетворення.

Перший варіант розпочинається з попередньої гарячої деформації, що супроводжується динамічною рекристалізацією, що призводить до дрібнозернистої структури, що, в свою чергу, дозволяє провести подальшу обробку тиском в умовах надпластичності. На завершальній стадії виробництва напівфабрикатів проводять відпал рекристалізації по режимах, що забезпечують оптимальний розмір зерна, що відповідає максимальній жароміцності, а також загартування і старіння.

Другий варіант обробки здійснюють в умовах, коли в процесі деформації відбувається виборча динамічна рекристалізація по межах зерен з формуванням дуплексної частково рекристалізованої структури типу "намисто". Така структура представлена великими початковими нерекристалізованими загартованими зернами  $\gamma$ -фази ( $d_{cp} \approx 0,05-0,1$  мм), облямованими сіткою дрібних рекристалізованих зерен тієї ж  $\gamma$ -фази ( $d_{cp} \approx 0,005-0,015$  мм). При такій структурі надпластичність не проявляється. Подальша термічна обробка включає неповне загартування з температур, що виключають повну рекристалізацію, і одно- або багатоступінчасте старіння.

Формування структури того або іншого типу залежить від співвідношення температур повного розчинення  $\gamma'$ - фази і температури динамічної рекристалізації. Якщо температура сольвуса  $\gamma'$ - фази співпадає,

або нижче температури динамічної рекристалізації, то створюються умови формування структури типу "намисто"; інакше утворення такої структури неможливе.

При деформації в умовах повного або майже повного розчинення  $\gamma'$ - фази ефективними перешкодами ковзанню дислокацій служать межі  $\gamma$ -зерен і скупчення карбідних виділень по цих межах. У результаті зародки динамічної рекристалізованої структури виникають на межах  $\gamma$ -зерен, а не в їх об'ємі. Якщо температура деформації не надто висока, то динамічна рекристалізація не поширюється за усім обсягом зерен і виникає структура типу "намисто". Після гартування і старіння така структура забезпечує поєднання високої міцності, високих характеристик жароміцності (опори повзучості і тривалої міцності) і підвищеного опору малоциклової втоми. Підвищення характеристик жароміцності в порівнянні з іншими способами обробки обумовлене деформованими великими  $\gamma$ -зернами оптимальних розмірів з розвиненою полігонізаційною структурою, а підвищений опір малоциклової втоми пов'язаний з окантовкою великих зерен дрібні рекристалізованими зернами.

Для зняття залишкових напружень після механічної обробки застосовують відпал при температурах нижче температур нагріву під загартування, але вище за температури старіння, а потім для відновлення жароміцних властивостей готові вироби піддають додатковому старінню.

Ливарні жароміцні нікелеві сплави піддаються, як правило, тільки гомогенізаційному відпалу або гомогенізації з наступним "низькотемпературним" старінням. Температуру гомогенізації вибирають в межах "вікна" термообробки  $\Delta T_{\text{то}} : \Delta T_{\text{то}} = T_{\text{лп}} - T_{\text{пп}}$ ,

де:  $T_{\text{лп}}$  - температура локального плавлення, при якій плавиться нерівноважна евтектика;

$T_{\text{пп}}$  - температура повного розчинення  $\gamma'$ - фази (сольвус  $\gamma'$ - фази).

Тривалість гомогенізації визначається хімічним складом сплавів, відстанню між осями дендриту першого порядку і іншими структурними

характеристиками сплаву. Гомогенізації піддають також зливки сплавів, що деформуються, для зведення до мінімуму дендритної ліквідації. Температура гомогенізації має бути нижча нерівноважного солідусу ( $T_{пл}$ ) і зазвичай складає 1170-1220°C, 8-10 годин.

Для сплавів спрямованої кристалізації з великим температурним градієнтом і, як наслідок, з тонкою структурою, потрібно невелика тривалість гомогенізації (~2 години). Для сплавів, отриманих в установках з порівняно невеликим температурним градієнтом, тривалість гомогенізації повинна складати 4-6 годин із-за грубішої структури. Дуже велику тривалість відпалу гомогенізації потрібно для усунення ліквідаційної неоднорідності розподілу вольфраму і ренію із-за малої швидкості дифузії атомів цих елементів.

Ливарні сплави з монокристалічною структурою піддаються досить складній термічній обробці. Вона складається з декількох стадій, які включають гомогенізацію впродовж 4-6 годин в інтервалі температур від  $T_{пр}$  до  $T_c$  (температура солідус) і двоступінчате "низькотемпературне" старіння. Після гомогенізації монокристалічні відливки охолоджують зі швидкістю не менше 100°C/хв для запобігання коагуляції  $\gamma'$ - часток. Перше старіння проводиться при температурах 980-1080°C впродовж 4-10 годин, а друге - при 850-900°C впродовж 20-48 годин, що забезпечує формування досконалої кубовидної форми  $\gamma'$ - часток[13].

#### 1.4. Досвід використання сплавів на основі Ni для виготовлення пресового інструменту

Як викладено вище нікелеві сплави мають ГЦК – гратку. В сплавах з ГЦК граткою дифузійна рухомість атомів кристалічної гратки на порядок нижче, ніж у сталей з ОЦК граткою, внаслідок більш щільного пакування гратки. Тобто ГЦК гратка є більш теплостійкою, тому що вища термічна

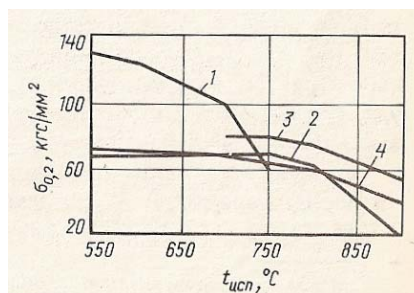


стабільність зміцнювальних фаз та низький коефіцієнт дифузії забезпечують більший опір знеміцненню при нагріванні порівняно з ОЦК граткою.

Зі сталей та сплавів на залізонікелевій основі при обробці мідних сплавів використовують 10X11H23T3MP та ХН35ВТЮ. Режим оптимальної термічної обробки: нагрівання 1170 – 1180°C, 4 години, охолодження на повітрі + старіння 750 – 800°C. Необхідно відмітити, що сталь 10X11H23T3MP має довготривалу міцність при 750°C (100 годин) 300 МПа, а сплав ХН35ВТЮ – 350 МПа. Це обумовлює їх температурну область роботи: для сталі 10X11H23T3MP – до 750°C, а для сплаву ХН35ВТЮ – дещо вище до 800°C [1].

Важливою перевагою сплавів, що розглядаються, перед іншими залізонікелевими сплавами є їх мала чутливість до надрізів, що обумовлює здатність до роботи у складних температурно-силових умовах експлуатації важконавантаженого інструменту.

До групи сплавів на нікелевій основі відносяться сплави ХН77ТЮР, ХН67МВТЮ, ХН55ВМКТЮ, ХН51ВМТЮКФР, ЖС6К зі зміцнювальною фазою типу  $Ni_3(Ti,Al)$ , а також сплави ХН62МВКЮ, ХН56ВМКЮ зі зміцнювальною фазою типу  $Ni_3Al$ . Усі вказані сплави були випробувані як матеріали для виготовлення матриць.



1 - 2Х6В8М2К8; 2 – ХН35ВТЮ; 3 – ХН56ВМКЮ; 4 – ХН70ВМТЮ

Рисунок 1.9 – Залежність границі текучості штампової сталі 2Х6В8М2К8 та сплавів на основі ГЦК гратки від температури нагрівання

З них лише сплави ЖС6К та ХН62МВКЮ показали задовільну стійкість. Усі інші сплави при добрій жароміцності виходили завчасно з ладу внаслідок розтріскування або налипання металу, що пресувався, на інструмент [14].

При виборі матеріалу для матриць гарячого пресування окрім твердості необхідно брати до уваги структурну стабільність сплавів.

З рис.1.9 видно, що опір пластичній деформації при високих температурах ( $>730^{\circ}\text{C}$ ) у сплавів на основі ГЦК гратки значно вище, ніж у штампових сталей мартенситного класу, навіть якщо вони з інтерметалідним зміцненням (сталь марки 2Х6В8М2К8). Тобто сталі та сплави на основі ГЦК гратки поступаються серійним високотеплостійким сталям в міцності при нагріванні до  $600 - 650^{\circ}\text{C}$ , однак переважають їх при нагріванні вище  $700^{\circ}\text{C}$ [15].

### 1.5 Мета та постановка задачі

На основі викладеного можна зробити висновок, що проблема вибору матеріалу для виготовлення матриць гарячого пресування потребує вирішення.

Сплави аустенітного класу мають ряд переваг порівняно із серійними штамповими сталями мартенситного класу. Максимальні температури експлуатації штампових сталей на основі  $\alpha$  – заліза із карбідним зміцненням є  $700 - 720^{\circ}\text{C}$ , що є недостатнім для сучасних вимог виробництва.

Зміцнення нікелевих сплавів інтерметалідними сполуками, в тому числі  $\gamma'$ - фазою значно підвищує температури експлуатації. Це робить перспективним використання таких сплавів для виготовлення інструментів гарячого деформування замість серійних штампових сталей мартенситного класу.

Метою даної роботи є визначення раціонального легування нікелевих сплавів з дисперсійним твердінням для виготовлення матриць гарячого пресування.

Для вирішення вказаної мети поставлені наступні задачі:

- вибір доцільних схем легування дослідних нікелевих сплавів;
- дослідження мікроструктури та визначення механічних властивостей обраних складів дослідницьких сплавів;
- побудова матриці математичного планування експерименту типу  $2^{4-1}$  для досліджень впливу легування на властивості.
- отримання рівнянь регресії залежності властивостей обраних сплавів від вмісту легувальних елементів.
- визначення раціональних складів сплавів для виготовлення матриць гарячого пресування металів.

## 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1. Хімічний склад та технологія отримання сплавів

В роботі досліджуються сплави на основі нікелю, які зміцнюються  $\gamma'$  - фазою типу  $Ni_3(Al, Ti)$ . Хімічний склад нікелевих сплавів обраних для досліджень наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Хімічний склад досліджуваних нікелевих сплавів

Номер сплаву	Масова частка елементів, %							
	C	Cr	Ti	Al	W	Mo	Nb	Ni
1	0,08	13,1	1,3	2,4	-	1,2	-	решта
2	0,05	13,2	1,3	4,0	4,6	1,2	-	
3	0,08	13,1	1,3	2,6	3,8	5,2	-	
4	0,03	13,1	1,2	4,3	-	5,1	-	
5	0,08	13,1	1,3	2,1	4,1	1,2	2,0	
6	0,03	13,4	1,4	4,4	-	1,2	1,8	
7	0,08	13,1	1,3	2,0	-	5,3	1,7	
8	0,06	13,3	1,1	3,8	4,0	5,2	2,0	
9	0,05	13,2	1,2	3,1	1,9	3,0	1,1	
10	0,05	13,1	1,3	3,0	2,0	,01	1,0	
11	0,04	13,0	1,1	3,2	1,8	3,2	1,2	
12	0,06	13,6	2,2	3,0	2,0	3,1	1,3	
13	0,03	13,3	1,4	3,6	2,3	3,2	1,0	

Примітка. Вміст кремнію в усіх сплавах складає 0,2-0,4 %, марганцю 0,3-0,5 %. В сплавах 12,13 вміст кобальту 6,9 та 8,0 % відповідно.

Сплави виплавляли у відкритій 50 кг індукційній печі з використанням шихтових матеріалів металів промислової чистоти. Розкислення проводили кремнієм та марганцем. Вказані елементи вводили за 5-7 хвилин до розливки. Температура розливки знаходилась в межах 1520-1560 °С. За 1-2 хвилини перед розливанням в розплав вводили 0,04 % магнію (у вигляді нікель магнієвої лігатури) та 0,01 % бору (у вигляді нікель-бору або хром-бору). Розливання здійснювали в шамотні трубки діаметром 80 мм. Отримані литі електроди (довжиною близько 800 мм) піддавали електрошлаковому переплаву на установці А-550 в кристалізатор діаметром 110. При перетопі використовували флюс АНФ-1П. Було встановлено, що в процесі ЕШП відбувається зниження вмісту титану на 7%, та алюмінію на 4% відносних. Це відповідним чином враховувалось при виборі хімічного складу електродів.

## 2.2 Виготовлення та термічна обробка зразків для досліджень

Зразки для механічних випробувань виготовляли із отриманих після перетопу зливків діаметром 110 мм та висотою 250 мм. Спочатку їх розрізали вздовж плити товщиною 15-20 мм, попередньо обрізавши верх та низ злитку на 30 мм. Після гартування плити розрізали в повздожному напрямку на заготовки, із яких виготовляли зразки для дослідження мікроструктури та механічних випробувань.

Температура гартування зразків, які досліджувались варіювали від 1100 до 1300 °С з охолодженням в воді, маслі та повітрі, а старіння здійснювали в інтервалі температур 800°С протягом 2 годин. При дослідженні впливу легування на мікроструктуру та механічні властивості. Термічна обробка сплавів складалась із гартування в маслі після

2х годинної витримки при температурі 1220 °С протягом 2х годин та подальшого старіння при 800 °С протягом 10 годин.

### 2.3 Механічні випробування

Визначення твердості сплавів проводилось методом Роквелла. При підвищеній температурі (800 °С) твердість вимірювали за Бринелем на установці «Amsler». Індентором слугує алундовий наконечник з радіусом закруглення 2,5 мм. Навантаження складає 250 МПа. Перед навантаженням наконечним разом із зразком прогрівається до температури випробування. Час витримки під навантаженням дорівнює 30 с.

Випробування на розтяг виконується на розривній машині ЦД-10. Зразки мали діаметр робочої частини 5 та розрахункову довжину 25 при загальній довжині 75 мм. Ударне навантаження визначали на зразках Менаже с надрізом радіусом 1 мм. Температури випробувань на розтяг та ударний згин склали 20 °С, 750 °С та 950 °С.

### 2.4 Дослідження мікроструктури

Дослідження мікроструктури проводили методами металографії та електронної мікроскопії. Зразки сплавів (мікрошліфи), щавили хімічно в реактиві складу: 92 мл HCl + 5 мл H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 3мл HNO<sub>3</sub> + 5 г CuSO<sub>4</sub>+ 50 мл C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>ОН або електrolітично в реактиві 9,8 г H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+ 16 г NaCl+ 5,4 г FeSO<sub>4</sub> + 100 H<sub>2</sub>O при густині струму 0,1А/см<sup>2</sup>.

Електронно-мікроскопічне дослідження мікроструктури проводили на просвітлюваному електронному мікроскопі УЕМВ-100 В з

використанням вуглецевих реплік. Щавлення зразків виконували таким чином, як для металографічного дослідження, тільки на більшу глибину. Відділення реплік здійснювали електролітично в 10-процентному розчині  $\text{HNO}_3$  етиловому спирті. При вивченні мікроструктури відпрацьованого пресового інструменту проводили прицільне відділення реплік від обраних ділянок.

## 2.5 Використання методики математичного планування експерименту

Розрахунок коефіцієнтів рівнянь регресії проводили за формулами:

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^N Y_u}{N}; \quad (2.1)$$

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N X_{iu} Y_u}{N}; \quad (2.2)$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N X_{iu} X_{ju} Y_u}{N}, (ij = 1, 2, 3, 4; i \neq j) \quad (2.3) \text{де: } b_0, b_i, b_{ij} - \text{ вільний}$$

член, лінійні та змішані коефіцієнти відповідно;

$u$  – номер дослідження;

$N$  – число дослідів, які складають дрібну репліку;

$X_{iu}, X_{ju}$  – закодовані значення вмісту легувальних елементів у  $u$  – досліді;

$Y_u$  – значення властивостей, що вивчається.

Дисперсія відтворюваності  $S_y$  визначалась за трьома дослідями, що відповідали нульовому рівню плану експерименту, за формулою:

$$S_y \sqrt{\sum_{k=1}^3 \frac{(Y_k - \bar{Y})^2}{2}} \quad (2.4)$$

$Y_k$  – значення властивості, яка досліджується кожного із 3х сплавів нульового рівня;

$\bar{Y}$  – середнє значення властивості, яка досліджується.

Розраховані коефіцієнти регресії визначались із використанням критерію Стюдента. Вибір його, як і інша математична обробка результатів здійснювалась при довірній вірогідності 95 %. Коефіцієнт приймався значущим, якщо виконувалась нерівність:

$$b_i, b_{ij} > t_T \frac{s_y}{\sqrt{N}} \quad (2.5)$$

$t_T$  -табличне значення критерію Стюдента при відповідній кількості числа ступенів свободи.

Для оцінки адекватності отриманих рівнянь регресії експериментальним даним розраховувалась дисперсія адекватності за формулою:

$$S_{ad}^2 = \sum_{u=1}^8 \frac{(Y_u - \widehat{Y}_u)^2}{N-n-1} \quad (2.6)$$

де:  $\widehat{Y}_u$  – значення досліджуваної властивості, яка визначається за рівняння регресії для умов  $u$ -того досліду;

$n$  – кількість значущих коефіцієнтів (окрім  $b_0$ )

Адекватність вважається доведеною, якщо виконується нерівність:

$$\frac{S_{ad}^2}{S_y^2} < F_m \quad (2.7)$$

$F_m$  -табличне значення критерію Фішера, яке вибране при відповідних ступенях свободи.

Розкодування рівнянь регресії здійснювали підстановкою дійсних значень аргументів (% мас)

$$X_i = \frac{\% i\text{-того елемента} - X_{oi}}{\Delta i} \quad (2.8)$$

$X_{oi}$  – нульовий рівень  $i$  – того елемента

$\Delta i$  – інтервал варіювання (%).



При розкодуванні нелінійних рівнянь регресії парні взаємодії складалась із тих елементів, для яких обидва лінійних коефіцієнта входили у відповідне рівняння регресії як значущі.

Дисперсія відтворюваності визначалась наступним чином:

$$\sqrt{\frac{\sum_{u=1}^N \sum_{m=1}^p (Y_{um} - \bar{Y}_u)^2}{N(p-1)}} \quad (2.9)$$

де:  $N$  – кількість дослідів дрібної репліки (рівне 8);

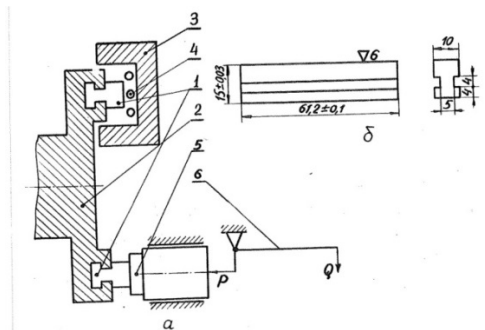
$P$  – кількість паралельно досліджених зразків в кожному досліді (не менше чотирьох);

$Y_{um}$  – значення властивості, яка досліджується із зразків в  $u$ -тому досліді;

$\bar{Y}_u$  – середнє значення властивості, що досліджується для кожного із зразків в  $u$ -тому досліді.

## 2.6 Випробування на гаряче зношування

Устаткування для гарячого зношування створено на базі токарного верстату (рисунок 2.1).



а) схема устаткування (1- зразки, 2- сепаратор; 3- електропіч; 4- нагрівач, 5 – вставка із твердого сплаву; 6- важіль)

б) креслення зразку;

Рисунок 2.1 – Устаткування для гарячого зношування

Дванадцять зразків (1) встановлювались по окружності в сепаратор (2), що кріпиться до планшайби верстату та фіксувались спеціальними тримачами. Обертаючись разом із сепараторами, зразки проходили через електропіч (3) з нагрівачем (4), а потім підлягали тертю о вставку із твердого сплаву (5). При терті вставка тиснула на зразки. Сила притискання до зразків передавалась вставці вантажем. Температура нагрівання зразків контролювалась термопарою, встановленою поблизу їх поверхні тертя.

Швидкість обертання сепаратора: один оберт здійснювалася за 57 с. Навантаження на зразок 150МПа. Температура розігріву поверхні зразків при терту о вставку складала близько 650°C. Величина зношування характеризувалась втратою ваги зразку в результаті стирання.

## 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ВИБОРУ НІКЕЛЕВИХ СПЛАВІВ З РАЦІОНАЛЬНИМ ЛЕГУВАННЯМ

### 3.1 Вибір схеми легування та матриці планування експерименту

Розглядаючи схеми легування нікелевих сплавів, які досліджувались можна сказати, що всі вони у складі мають не більше 0,08% вуглецю, та близько 13% хрому. Вміст легувальних елементів обирався згідно дрібної репліки  $2^{4-1}$ . Незалежні змінні є вміст алюмінію ( $X_1$ ), молібдену ( $X_2$ ), ніобію ( $X_3$ ), вольфраму ( $X_4$ ). Умови побудови експерименту наведені в таблиці 2.2

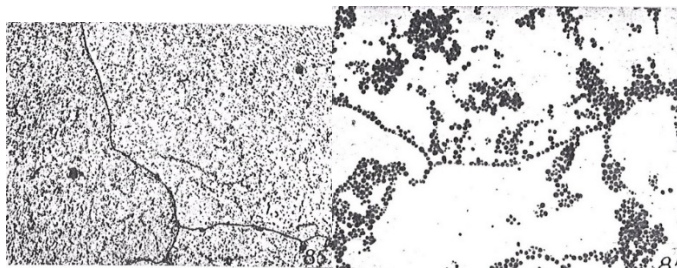
Таблиця 2.2 – Рівні легування та матриця планування сплавів

Назва	Al	Mo	Nb	W
Кодове значення	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$
Нульовий рівень, %	3,2	3,2	1,0	2,0
Інтервал варіювання, %	0,9	2,0	1,0	2,0
Верхній рівень (+), %	4,1	5,2	2,0	4,0
Нижній рівень (-), %	2,3	1,2	0	0
Сплав 1	-	-	-	-
Сплав 2	+	-	-	+
Сплав 3	-	+	-	+
Сплав 4	+	+	-	-
Сплав 5	-	-	+	+
Сплав 6	+	-	+	-
Сплав 7	-	+	+	-
Сплав 8	+	+	+	+
Сплави 9-11	0	0	0	0

Легування алюмінієм та титаном виконувалось для утворення зміцнювальної  $\gamma'$  - фази типу  $Ni_3Al$ , ніобій та вольфрам вводиться для твердорозчиного зміцнення та підвищення термічної стабільності  $\gamma'$ - фази. Проте можна зазначити, щ підвищення вмісту елементів, які утворюють  $\gamma'$ - фази може призводити до зниження характеристик пластичності. Ведення в сплав елементів  $Mo, Nb, W$  в комплексі позитивно впливає на характеристики жароміцності, що в свою чергу підвищує температуру експлуатації виробу.

### 3.2 Особливості мікроструктури досліджень сплавів

Хімічний фазовий аналіз показав, що в сплавах, що мають номери з 1 по 13 (табл. 2.1), після гартування ( $1220^\circ C$ , 2 години, масло) та старіння ( $800^\circ C$ , 10 год) присутня практично тільки  $\gamma'$ -фаза типу  $Ni_3(Al, Ti)$ . Відносна кількість її в найменш легованому сплаві №1 (нижній рівень матриці планування) рівно 15, а в сплаві №9 (нульовий рівень) зросло до 19,1%. Окрім  $\gamma'$ -фази в нікелевих сплавах присутня невелика кількість тільки карбиду  $TiC$ , в сплаві №11 його кількість 0,2%.



а×200 б×10000

Рисунок 3.1 – Мікроструктури сплавів на основі нікелю

В мікроструктурі вказаних сплавів практично відсутні глобулі первинних надлишкових фаз. Характерна мікроструктура (сплав №11)

приведена на рисунок 3.1 а. Частилки зміцнювальної  $\gamma'$ -фази мали форму близьку до сферичної (рисунок 3.1 б), розмір їх складав 400-800Å.

### 3.3. Результати механічних випробувань

Механічні властивості сплавів на основі нікелю наведені в таблиці 3.1. Термічну обробку проводили за режимом 1230°C, 2 години, масло + 800°C, 10 год для сплавів (1-13).

Із даних механічних випробувань слідує, що відмінною рисою нікелевих сплавів є збереження відносно високого рівня характеристик міцності при збільшенні температури випробування до 950°C. Найбільше значення границі міцності при цій температурі 645 МПа має сплав №8 (верхній рівень матриці планування). Варто відмітити, що величина ударної в'язкості помітно знижується із збільшенням температури випробувань від 20 до 750°C, знову зростаючи при температурі 950°C.

За результатами випробувань були розраховані наведені нижче рівняння регресії, що показують вплив на механічні властивості алюмінію, молібдену та ніобію. В квадратних дужках вказані вміст легувальних елементів в вагових відсотках.

$$\text{HRC}^{20^\circ} = 14,0 + 5,4 [\text{Al}] ; (3.1)$$

$$\text{КСУ}^{20^\circ} \text{ Дж/см}^2 = 41,5 - 7,7[\text{Al}]; (3.2)$$

$$\sigma_{\text{В}}^{750^\circ} \text{ МПа} = 405 + 102 [\text{Al}]; (3.3)$$

$$\text{КСУ}^{750^\circ} \text{ Дж/см}^2 = 34,2 - 7,0[\text{Al}]; (3.4)$$

$$\text{НВ}^{800^\circ} = 1730 - 20[\text{Al}] - 6[\text{Mo}] - 460[\text{Nb}] + 40[\text{Al}][\text{Mo}] + 20[\text{Nb}][\text{Al}]; (3.5)$$

$$\sigma_{0,2}^{950^\circ} \text{ МПа} = 100[\text{Al}] + 12[\text{Mo}] + 5[\text{W}] + 6[\text{Mo}][\text{W}] - 82; (3.6)$$

$$\sigma_{\text{В}}^{950^\circ} \text{ МПа} = 82[\text{Al}] + 22[\text{Mo}] + 18[\text{Nb}] - 36[\text{W}] + 19[\text{Al}][\text{W}] - 10; (3.7)$$

$$\text{КСУ}^{950^\circ} \text{ Дж/см}^2 = 520 - 103[\text{Al}]; (3.8)$$

Із отриманих рівнянь видно, в основному впливає на характеристики, що досліджуються, алюміній. Із збільшенням його вмісту (2,3-4,1%) при всіх температурах досліджень збільшуються властивості міцності та твердість, проте суттєво знижується ударна в'язкість. Роль молібдену (1,2-5,2%) виявляється в підвищенні гарячої твердості та характеристик міцності при температурі 950°C, що слідує із рівнянь 3.5,3.6,3.7).

Вплив ніобію (0-2%) на властивості таке ж як і молібдену тільки відмінність в тому, що роль незначна для границі плинності при 950°C. Вольфрам (0-4%) не вказує впливу на твердість при обох температурах, проте підвищує границю плинності та границю міцності при 950°C.

Зміну властивостей при збільшенні вмісту титану в сплаві нульового рівня матриці планування з 1,1 до 2,2% видно із порівняння сплавів №11 та 12. Характерним є зниження характеристик пластичності та підвищення міцності. Вплив 8% кобальту (сплави 11, 12) проявляється перш за все у збільшенні границі плинності та границі міцності при температурі 950°C та твердості.

Характеристикою випробування на гаряче зношення нікелевих сплавів є втрата ваги, результати наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати досліджень нікелевих сплавів на гаряче зношення

Номер сплаву	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\Delta m$	785	804	474	623	1193	1032	1850	379	653

Рівняння регресії виглядає наступним чином:

$$\Delta m, \text{ мг} = 743 - 12[\text{Al}] + 1076[\text{Nb}] + 42[\text{W}] - 221[\text{Al}][\text{Nb}] - 61[\text{Nb}][\text{W}]; \quad [3.9]$$

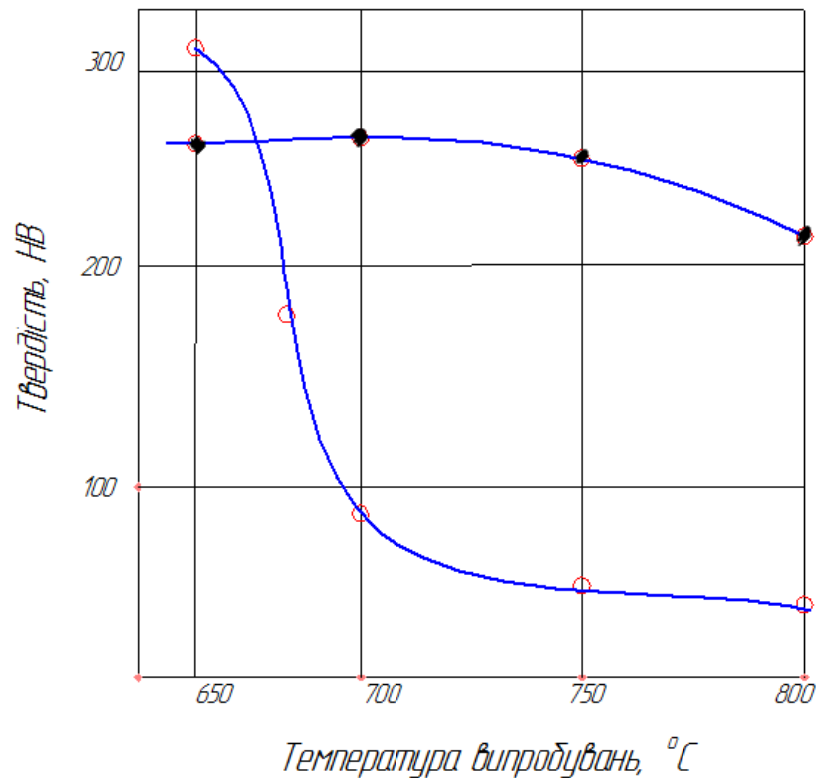
Парні взаємодії ускладнюють інтерпретацію отриманого рівняння, проте можна вказати на тенденцію підвищення зносостійкості при введенні в сплав ніобію, вплив алюмінію та вольфраму протилежно, вплив молібдену незначний

Таблиця 3.1 – Механічні властивості сплавів на основі нікелю при різних температурах випробування

Номер сплаву	20°C			750°C					800°C	950°C		
	HRC	$\sigma_B$ , МПа	KCU, Дж/см <sup>2</sup>	$\sigma_{0.2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	KCU Дж/см <sup>2</sup>	НВ	$\sigma_{0.2}$ МПа	$\sigma_B$ МПа	KCU Дж/см <sup>2</sup>
1	23	853	21,2	419	642	33,2	44,0	17,6	177	162	204	313
2	36	1020	6,9	687	785	14,3	20,4	5,4	180	395	472	77
3	28	894	22,7	518	620	12,6	21,8	15,8	178	342	394	246
4	34	1012	14,9	692	772	13,1	17,5	6,5	219	379	422	9,6
5	28	880	28,0	470	663	24,2	32,3	16,3	165	202	255	34,7
6	35	1000	10,7	596	825	34,5	25,4	6,0	245	342	461	6,4
7	27	875	23,3	512	629	19,4	18,9	22,5	190	217	273	31,4
8	40	1024	5,1	879	910	4,1	8,9	4,2	297	525	645	5,3
9	30	924	22,8	633	802	14,2	15,5	11,6	221	297	360	23,7
10	36	920	4,7	724	810	8,2	7,9	7,7	229	364	445	9,2
11	31,9	920	22,0	636	810	14,0	15,2	11,4	225	300	36,5	22,9
12	31	931	22,1	640	815	13,8	14,9	11,0	223	299	26,6	23,0
13	36	958	15,6	635	769	19,5	16,6	10,1	262	391	44,7	15,7

### 3.4 Вибір раціонального легування сплавів для пресових матриць

Опираючись на результати випробувань, спочатку для промислового випробування обираються сплави, які мають такий рівень властивостей, який ймовірно відповідає необхідному. Виходячи з цього, звернемо увагу на нульовий рівень матриці планування (№9). Хімічний склад наведений в табл. 2.1, та механічні властивості табл. 3.1. На рисунку 3.2 наведені температурні залежності твердості цих сплавів та (для порівняння) штампової сталі 5Х3ВМФС.



● – нікелевий сплав №9; ○ – штампова сталь марки 5Х3ВМФС

Рисунок 3.2– Залежність гарячої твердості від температури випробувань

Видно, що при температурах, які перевищують 650°C, досліджувані сплави мають значну перевагу перед стандартною сталлю. Значення



твердості при 700°С для сплаву №9 HB 250 (HRC 24), відповідає необхідному рівню. Останнє відноситься і до величини твердості цих сплавів при кімнатній температурі. Значення границі плинності відповідає таблиці 3.1 також відповідає плануванню (перевищують 650МПа). То, настільки перелічені властивості обраних сплавів дійсно задовольняють службовим вимогам, проте характеристики пластичності можуть бути визначено промисловими випробуваннями.

Результати пошуку раціонального легування сплавів, що зміцнюються  $\gamma'$ - фазою, для матриць, які використовувались при гарячому пресування. Повний вихід із ладу відбувався внаслідок зношування або появи крупних тріщин в області робочого отвору матриць. Середня стійкість матриць із стандартної штампової сталі марки 3Х2В8Ф за постановку складала 6 пресовок. Термічну обробку сплавів здійснювали тим ж режимом, що й при вивченні (1220°С, 2 години, масло + 780-800°С, 10 годин).

Таблиця 3.3 – Легування, механічні властивості та результати промислових випробувань матриць, які зміцнювались  $\gamma'$  - фазою, при пресуванні прутків з бронзи

Номер сплаву	Основа, %мас	Легування, %мас					20°С		750°С		Стійкість матриць за постановку
		Ti	Al	W	Mo	Nb	HRC	$\sigma_{0.2}$ МПа	KCU, Дж/см <sup>2</sup>		
15	Ni	1,2	2,9	-	3,3	-	21	46,3	21,3	48	
16	Ni	1,2	2,8	-	-	-	18	39,2	26,0	36	

Як видно з таблиці стійкість за постановку матриць із сплаву з нульовим рівнем легування мало відрізнялась від стійкості серійних матриць, а фактором який обмежував працеспроможність, було поява крупних тріщин в області робочого отвору. Для подальшого дослідження було обрано сплави, із легування яких виключено ніобій та вольфрам 15, а

також молібден 16. Це забезпечило сплавам достатньо високі значення ударної в'язкості, стійкість виготовлених матриць виросла. Матриці із сплаву 15 виходили із ладу із-за появи тріщин. Для всіх матриць із нікелевих сплавів було характерно налипання матеріалу, який пресувався, на робочий поясок формоутворювального отвору.. Таким чином, із досліджених сплавів найкращу працеспроможність в багато разів перевищуючу працеспроможність серійної штампової сталі показали матриці із сплаву 15. Це робить його економічно вигідним.

#### 4 РОЗРОБКА РЕЖИМУ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

Метою термічної обробки жароміцних матеріалів є створення стабільної структури (внутрішня структура повинна бути максимально досконалою, а протяжність меж зерен мінімальною), яка не змінюється впродовж тривалого терміну експлуатації. Термічною обробкою створюють в сплаві структуру, що складається з розташованих в твердому розчині та по межах зерен дисперсних карбідних, а особливо інтерметалідних фаз, що когерентно зв'язані з матрицею. Наявність рівномірно розподілених дисперсних надлишкових фаз уповільнює пластичну деформацію при високих температурах.

Вибір основних операцій ТО необхідно здійснювати таким чином, щоб технологія була високопродуктивною, забезпечувала б найбільш раціональне використання матеріальних та енергетичних ресурсів і головне – високу якість продукції.

Термічна обробка обраного сплаву здійснюється за такими режимами: гартування  $1220 \pm 10$  °C, 2 години, масло та старіння  $800 \pm 10$  °C, протягом 10 годин, повітря.

Гартування жароміцних сплавів за своїм ефектом відрізняється від гартування вуглецевих сталей і проводиться з метою розчинення карбідних та інтерметалідних фаз (в основному  $\gamma'$ -фазу) в твердому розчині, тобто з метою отримання пересиченого твердого розчину. При призначенні температури гартування необхідно враховувати можливість найбільш повного розчинення вторинної фази. Верхня границя інтервалу температури гартування має бути нижчою за температуру солідусу для запобігання плавленню меж зерен. При перегріванні порушується зв'язок між зернами та під дією гартівних напружень виникають міжкристалічні тріщини, що суттєво погіршують пластичність та міцність.

Витримка при високих температурах дозволяє розчинити надлишкові фази в твердому розчині і отримати зерна необхідних розмірів.

Старіння сплавів дозволяє перевести структуру в більш стабільний стан та виділити максимальну кількість  $\gamma'$ -фази. Внаслідок цієї обробки надлишкові фази виділяються в повній мірі, їх частинки набувають більших розмірів, порівняно із частинками енергетично-відповідними температурі експлуатації, надалі такі частинки досить повільно змінюються у розмірах, тобто є стабілізованими.

Для здійснення операції гарту та старіння обираємо піч СНЗ-4.8.3/12,5 та СНЗ 4.8.3/8: С – електрична, Н – камерна, В – вакуумне середовище (контрольоване), з довжиною 800 мм, шириною 400 мм, висотою 300 мм робочого простору з максимальною температурою нагріву до 1250 °С та 800 °С відповідно.

Розміри пресової матриці складають: діаметр – 107 мм, висота – 30 мм.

Розрахуємо скільки виробів можна розмістити на одному піддоні  $n_{Ш}$  (по осі у пічки) та  $n_{Д}$  (по осі x пічки):

$$n_{Ш} = \frac{Ш}{d + d/2} (\text{шт.}); \quad n_{Ш} = \frac{400}{107+54} = 2,4 = 2 (\text{шт.});$$

де Ш – ширина робочого піддону, 400 мм;

d – діаметр заготовки, 107 мм;

d/2 – відстань між виробами, 54 мм.

$$n_{Д} = \frac{Д}{d + d/2} (\text{шт.}); \quad n_{Д} = \frac{400}{107+54} = 2,3 = 2 \text{ шт}$$

де Д – довжина піддону, 400 мм;

d – діаметр заготовки, 107 мм;

d/2 – відстань між виробами, 53,5 мм.

Отже, на одному ярусі піддону буде:

$$n_{яр.н.} = n_{Ш} \cdot n_{Д} (\text{шт.}); \quad n_{яр.н.} = 2 \cdot 2 = 4 \text{ шт}$$

Тоді на одному ярусі буде:

$$n_{\text{яр.}} = 2 \cdot n_{\text{яр.п.}} (\text{шт.}); n_{\text{яр.}} = 2 \cdot 4 = 8 \text{ шт}$$

Розрахуємо кількість ярусів виробів в печі:

$$K_{\text{яр.}} = \frac{H}{h + h/2} (\text{яр.}); K_{\text{яр.}} = \frac{300}{30+15} = 6 \text{ ярусів}$$

Отже загальна кількість виробів в печі:

$$N_{\text{вир}} = K_{\text{яр.}} \cdot n_{\text{яр.}}; N_{\text{вир}} = 6 \cdot 8 = 48 \text{ шт}$$

Розрахуємо масу садки виробів в печі:

$$M_{\text{с}} = N_{\text{вир}} \cdot m_{\text{вир}}; M_{\text{с}} = 48 \cdot 2,4 = 115,2 \text{ кг}$$

$$\text{де } m_{\text{виробу}} = 3,14 \cdot 0,054^2 \cdot 0,03 \cdot 8910 = 2,4 \text{ кг} .$$

Розрахуємо тривалість нагрівання попереднього підігрівання пресових матриць :

$$\tau_{\text{н.поч.}} = S \cdot k \cdot f \cdot L_{\text{л}};$$

де  $S$  – характеристичний розмір виробу (30 мм);

$k$  – коефіцієнт форми ( $k=0,75$ );

$f$  – коефіцієнт розташування виробів у нагрівальному пристрої, що впливає на час нагрівання, хв. ( $f=1,4$ );

$L_{\text{л}}$  – коефіцієнт легування сплаву, хв/мм

Для нікелевих сплавів коефіцієнт легування розраховується за формулою:

$$\frac{L_{\text{ст}} \cdot \lambda_{\text{ст}}}{c_{\text{ст}}} = \frac{L_{\text{спл}} \cdot \lambda_{\text{спл}}}{c_{\text{спл}}},$$

$$L_{\text{спл}} = L_{\text{ст}} \cdot \frac{c_{\text{спл}} \cdot \lambda_{\text{ст}}}{c_{\text{ст}} \cdot \lambda_{\text{спл}}};$$

Таким чином для температури гартування 1220°C складає:

$$L_{\text{спл}} = 0,18 \cdot \frac{0,942 \cdot 29,5}{0,670 \cdot 31,1} = 0,2401 \text{ хв/мм}$$

Отже, тривалість нагріву при гартуванні

$$\tau_{\text{н.з}} = 30 \cdot 0,75 \cdot 1,4 \cdot 0,2401 = 7,56 \text{ хв}$$

Розрахуємо час витримки:

Час витримки розраховується з умови 1.5 хв на 1 мм товщини, тож

$$\tau_v = 1.5 \cdot 15 = 22,5 \text{ хв}$$

Швидкість охолодження в маслі складає  $V_{ox} = 50^\circ\text{C}/\text{хв.}$ , тому тривалість охолодження при гартуванні складатиме:

$$\tau_{ox.z.} = \frac{t_n - t_k}{V_{охол.}}; \quad \tau_{ox.z.} = \frac{1220 - 20}{50} = 24 \text{ с} = 0,4 \text{ хв}$$

де  $t_n$  – початкова температура ( $t_n = 1220^\circ\text{C}$ );

$t_k$  – кінцева температура ( $t_k = 20^\circ\text{C}$ ).

Отже, загальний час гартування:

$$\tau_{заг} = \tau_{н.з.} + \tau_v + \tau_{ox.z.};$$

$$\tau_{заг} = 7,56 + 22,5 + 0,4 = 30,46 \text{ хв}$$

де  $\tau_{н.з.}$  – час нагрівання до заданої температури, хв.;

$\tau_v$  – час витримки при технологічній температурі, хв.;

$\tau_{ox}$  – час охолодження, хв.

Розрахуємо час, що було витрачено на старіння.

Коефіцієнт легування для температури  $800^\circ\text{C}$  складає:

$$L_{стл} = 1,198 \cdot \frac{0,896 \cdot 27,4}{0,590 \cdot 28,9} = 1,7249$$

Таким чином, час витрачений на нагрівання складає:

$$\tau_n = 30 \cdot 0,75 \cdot 1,4 \cdot 1,7249 = 54,33 \text{ хв.}$$

Час витримки  $\tau_v$  беремо з довідникових даних, він дорівнює 10 годин. = 600 хв.

Охолодження після старіння відбувається на повітрі, швидкість охолодження при цьому складає  $5^\circ\text{C}/\text{с}$ , звідси час затрачений на охолодження:

$$\tau_{ox} = (800 - 20)/5 = 152 \text{ с} = 2,5 \text{ хв.}$$

Загальний час затрачений на старіння складає:

$$\tau_{\text{заг}} = 54,33 + 600 + 2,5 = 656,83 \text{ хв.}$$

Після розрахунків часу нагрівання графік термічної обробки виглядає наступним чином (рис. 4.1).

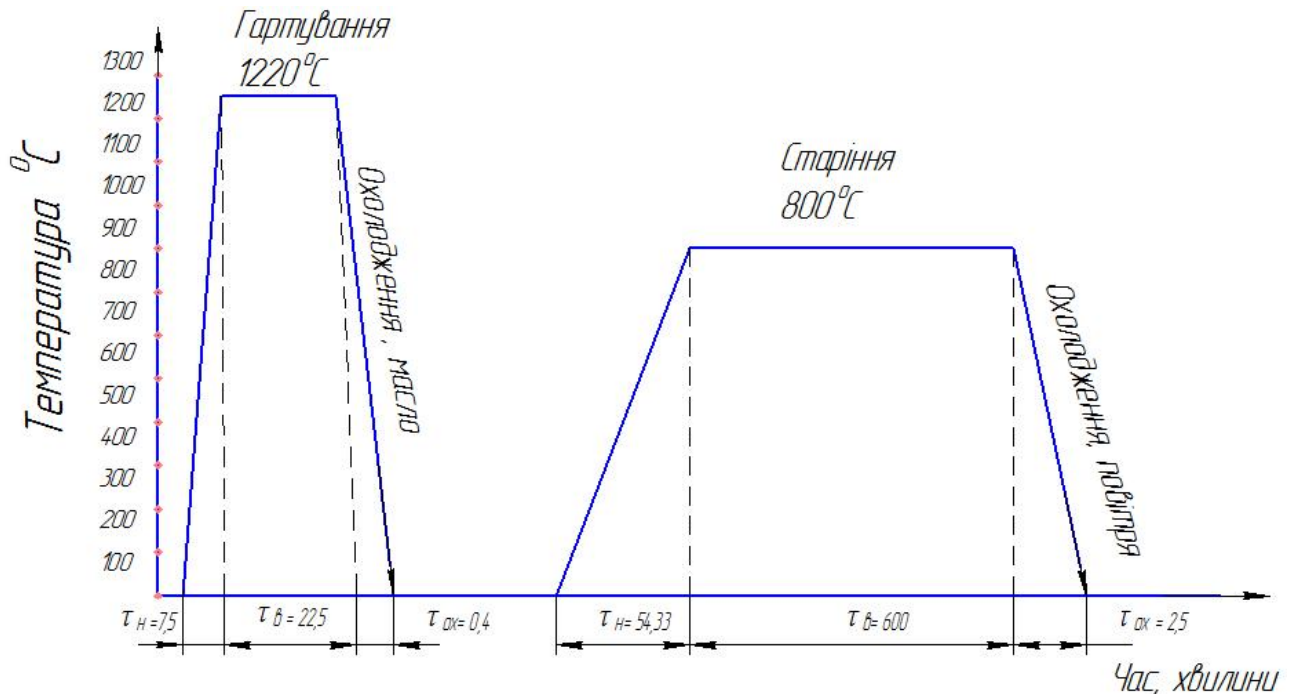


Рисунок 4.1 – Графік термічної обробки матриць пресування

Рациональне використання контрольних операцій дозволяє попередити появу браку і надає можливість оцінити якість продукції, що обробляється.

При виконанні гартування контролюють всі основні технологічні параметри процесу: тривалість та температуру нагрівання, температуру охолоджуючих середовищ.

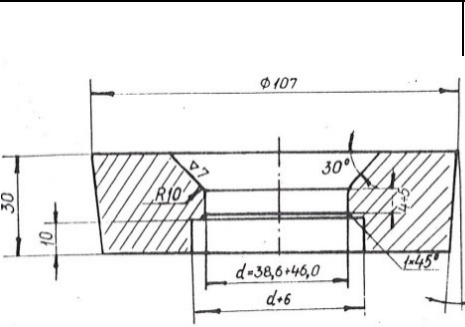
Передбачається три види контролю:

- вхідний, при цьому визначається марка сплаву, хімічний склад (за допомогою стилоскопів), стан поверхні, форма і розміри. На поверхні не повинно бути грубих подряпин, тріщин, вдавлювань, контролюється це за допомогою люмінесцентного методу дефектоскопії;
- поточний (поопераційний), контролюються задані параметри;

- вихідний (завершальний), на цьому етапі перевіряються параметри виробів, які передбачені робочим кресленням. Проводяться випробування на розтяг, та ударним згином. Контролюється час та температура гартування, старіння.

Таким чином, під час виконання термічної обробки необхідно дотримуватись маршрутної технології, яка оформлюється у вигляді технологічної карти. Карта технологічного процесу термічної обробки представлена у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Карта технологічного процесу термічної обробки матриці пресування

Ескіз виробу			Технічні вимоги до матеріалу			
			Матеріал	Властивості		Структура
						Сплав на основі Ni
№/п	Операція	Обладнання (прилади)	Умови нагрівання	Умови охолодження	Назва пристосування, кількість виробів	Умови оброблення та контролю
1	2	3	4	5	6	7
1	Контроль вхідний	Стилоскоп, штангенциркуль, мікрометр.				3% від партії. 100% - стан поверхні та розмірів



## Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7
2	Гартування	СНЗ 4.8.3/12.5	$t=1220\pm 10^{\circ}\text{C}$		2	Контролюється
2.1	Нагрівання		$\tau_{\text{н}}=7,56\text{хв}$		піддони, садка, N=48 шт.	температура та тривалість нагрівання
2.2	Витримка	СНЗ 4.8.3/12.5	$t=1220\pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{в}}=22.5\pm 5\text{хв}$			Контролюється температура та тривалість витримки.
2.3	Охолодження			Масло, $t\leq 50^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{ох}}=0,4\text{хв}$	2 піддони, садка, N=48 шт.	Контролюється температура та тривалість охолодження
3	Старіння		$t=800\pm 10^{\circ}\text{C}$		2	Контролюється
3.1	Нагрівання	СНВ 4.8.3/8	$\tau_{\text{н}}= 54 \text{ хв}$		піддони, садка, N=48 шт.	температура та тривалість нагрівання
3.2	Витримка	СНВ 4.8.3/8	$t=800\pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau=600 \pm 5\text{хв}$			Контролюється температура та тривалість витримки.
3.3	Охолодження			Повітря, $t\leq 20^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{ох}}=2.5\text{хв}$		Контролюється температура та тривалість охолодження

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 5.1 Характеристика ринку штампових сталей

Із розвитком сучасного машинобудування та металургії, виробництвом та використанням в більших об'ємах конструкційних матеріалів, багато з яких важко оброблюються, інтенсифікація процесів обробки тиском неминуче супроводжується зниженням стійкості інструменту.

Як відомо стійкість інструментів для оброблювання металів в багато чому зумовлює продуктивність машинобудівних підприємств. Таким чином використання більш сучасних та якісних матеріалів, які забезпечують більшу стійкість інструментів, в конкретному випадку інструментів для гарячого пресування забезпечує економічну стабільність підприємства.

Зазвичай для пресів гарячого деформування використовують сталі типу 3Х2В8Ф ці сталі мають теплостійкість до 720 °С і при більших температурах експлуатації інструмент виходить з ладу. Сплави, які досліджуються, зміцнюються за допомогою дисперсійного твердіння та мають в основі нікелеву матрицю. Таким чином використовуючи сплави такого типу підвищується конкурентоспроможність інструментів для гарячого пресування, що в свою чергу є вигідним для виробництва.

Попит на сплав такого типу на даний час підвищується. На українському ринку можна зазначити такі підприємства як Нікопольський трубний завод, Артем'євський завод по обробці кольорових металів, також Дніпроспецсталь.

На російському ринку кількість підприємств набагато більша серед них Єкатеринбургський металургійний завод, Уральський трубний завод «Уралтрубпром», Московський трубний завод «Филит» тощо.

У зв'язку із ситуацією, яка склалася в Україні останнім часом, продаж товарів до Росії значно ускладнився, проте є підприємства в Європі та Азії, які можуть придбати запропоновані сплави.

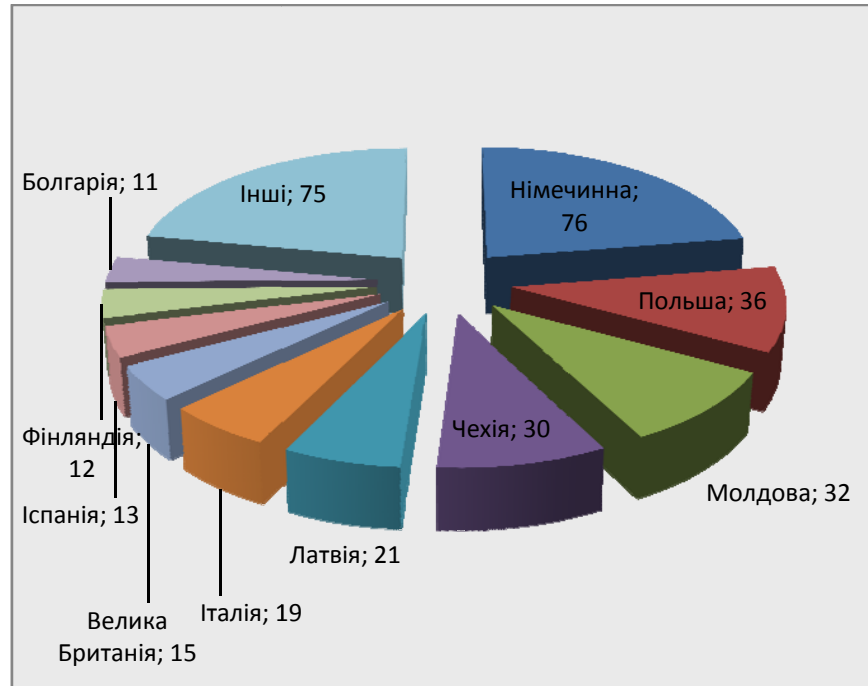


Рисунок 5.1 – Ринок збуту сплаву в Європі

Великим попитом сплави на нікелевій основі для пресового інструменту можуть скористатися на підприємствах Азії. Близько 800 підприємств можуть співпрацювати із Україною.

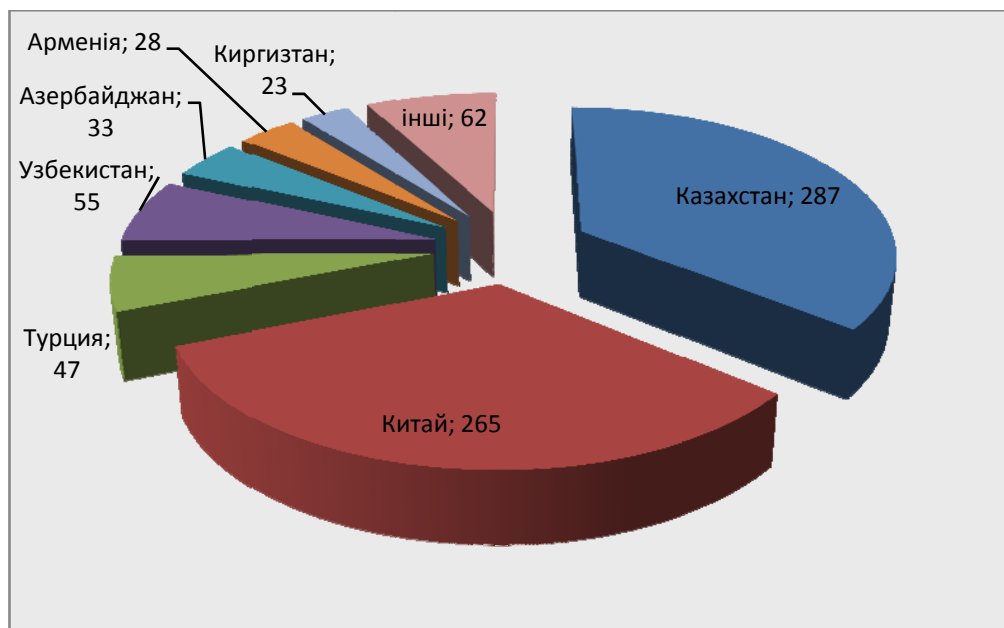


Рисунок 5.2 – Ринок збуту сплаву в Азії

Таким чином близько 350 підприємств в Європі з них в Німеччині 76, Польщі 32, Фінляндії 12 тощо, можуть скористатися послугами українських науковців, що в свою чергу підвищує рівень українського виробництва. Проаналізувавши ринок можна зробити висновок, що сплав, який досліджується в даній роботі є конкурентоспроможним та буде користуватися попитом за межами України.

## 5.2 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 вказують на доцільність використання нової сталі, складається кошторис витрат (табл. 4.1).

Таблиця 5.1 – Кошторис витрат на виконання науково-дослідницької роботи

Стаття витрат	Сума
Матеріали	4533
Витрати на спеціальне устаткування	70045
Основна заробітна плата	24990
Додаткова заробітна плата	2240
Єдиний соціальний внесок	5992
Накладні витрати	22491
Інші витрати	569.66
Разом	130860

## 1) Розрахунок вартості матеріалів.

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

Таблиця 5.2 - Розрахунок вартості матеріалів

Матеріал	Витрати матеріалу, кг	Ціна за одиницю, т	Сума витрат
Сплав на основі нікелю	20	131000	2620
Сталь 5Х3ВМФС	20	56000	1120
Реактиви	-	-	512
Фотопапір			69
Усього			4252
Транспортно-заготівельні витрати (5%)			212
Всього			4533

## 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.

Таблиця 5.3 - Витрати на спеціальне устаткування

Перелік устаткування	Марка	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Собівартість експлуатації, год.
1	2	3	4	5
Розривна машина	ЦД-10	1	228 480	6854
Твердомір	ТК-2	1	23 500	705

Електронний мікроскоп	«Tesla BS 540»	1	2 077 092	62 312
Оптичний мікроскоп	МИМ - 8	1	4615	138
Разом				70 045

### 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.

Додаткова зарплата визначається в розмірі 8-10 % від основної заробітної плати штатних працівників.

$$ЗП_{\text{доп}} = ЗП_{\text{осн}} \cdot 0,09 = 24\,990 \cdot 0,09 = 2249 \text{ грн.} \quad (5.1)$$

Основна й додаткова заробітна плата по кошторису не повинна перевищувати 40 % кошторисної вартості

Таблиця 5.4 - Розрахунок основної заробітної плати

№	Посада виконавця	Кількість людей	Місячний оклад, грн	Середньоденна зарплата, грн	Зайнятість НДР, днів	Підсумкова сума, грн
1	Головний науковий співробітник	1	5400	270	35	9450
2	Молодший науковий співробітник	1	3500	175	76	13300

3	Лаборант	1	3200	160	14	2240
Разом						24 990

#### 4) Відрахування на соціальне страхування

Ці витрати визначаються в розмірі 37,5% основної та додаткової зарплати. Ці дані заносяться до табл. 5.1.

$$C_{\text{соц.стр.}} = (З_{\text{Посн}} + З_{\text{Пдоп}}) \cdot 0,22 = (24\,990 + 2249) \cdot 0,22 = 5992 \text{ грн.} \quad (5.2)$$

Накладні витрати по проведенню науково-дослідницької роботи визначаються у відсотках від основної заробітної плати її виконавців ( у межах 80-100%). До них відносяться витрати, пов'язані з управлінням, утриманням і експлуатацією устаткування й приміщень, створенням необхідних санітарно-гігієнічних умов.

$$C_{\text{н}} = З_{\text{Посн}} \cdot 0,9 = 24\,990 \cdot 0,9 = 22\,491 \text{ грн.} \quad (5.3)$$

Стаття "Інші витрати" складає 2-3 % суми усіх попередніх статей витрат на утримання і експлуатацію устаткування.

$$C_{\text{і}} = (C_{\text{соц.стр.}} + C_{\text{н}}) \cdot 0,02 = (5992 + 22\,491) \cdot 0,02 = 569,66 \text{ грн.} \quad (5.4)$$

### 5.3 Розрахунок економічного ефекту від впровадження результатів науково-дослідницької роботи

При проведенні розрахунків виходили з того, що використання сплаву на основі нікелю замість сталі ДИ23 у 3,8 рази підвищує стійкість матриць для гарячого пресування мідних сплавів.

Факторами, що забезпечують економічний ефект при використанні сплаву на основі нікелю замість серійної штампової сталі є збільшення

Економічний ефект від зменшення кількості металу на виготовлення інструменту розраховано згідно з формулою:

$$\Delta_M = K_C \cdot [\text{Ц} - K_1 \cdot (K_2 \cdot K_3 \cdot \text{Ц}_0 + K_4 \cdot \text{Ц}_C)] - [\text{Ц}^1 - K_1 \cdot (K_2 \cdot K_3 \cdot \text{Ц}_0^1 + K_4 \cdot \text{Ц}_C^1)] \quad (5.5)$$

де  $K_C$  – коефіцієнт стійкості інструменту з нової сталі у порівнянні зі сталлю, що використовується

$\text{Ц}$  та  $\text{Ц}^1$  - оптова ціна сталі, що використовується та нового сплаву відповідно, грн/т;

$K_1$  – коефіцієнт, що враховує безповоротні втрати відходів в процесі збирання та транспортування (рівний 0,9);

$K_2$  – коефіцієнт, що враховує повернення амортизаційного лому інструменту (рівний 0,4);

$K_3$  – коефіцієнт використання нового сплаву;

$K_4$  – коефіцієнт, що враховує кількість стружки при виготовленні інструмента;

$\text{Ц}_0$  та  $\text{Ц}_0^1$  - ціна кускових відходів сталі, що використовується та нового сплаву відповідно, грн/т;

$\text{Ц}_C$  та  $\text{Ц}_C^1$  - ціна стружки сталі, що використовується та нового сплаву відповідно, грн/т.

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

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

Найменування показників	Матриці для гарячого пресування мідних сплавів	
	Базовий варіант	Запропонований варіант
Коефіцієнт стійкості	1	3,8



Вартість виготовлення одиниці інструмента, грн.	120	120
Оптова ціна вихідного матеріалу, грн/т	56000	131000
Середній коефіцієнт використання інструментальної сталі	0,4	0,4

Продовження таблиці 5.5

Коефіцієнт, що враховує кількість стружки при виготовленні інструмента	0,6	0,6
Кількість інструмента, виготовленого з 1 т сталі, шт.	120	120
Ціна кускових відходів, грн/т	2500	5000
Ціна стружки, грн/т	1000	1500

Економічний ефект від зниження витрат на виготовлення інструменту визначається згідно з формулою:

$$\mathcal{E}_И = (K_C \cdot C - C^1) \cdot B \quad (5.6)$$

де  $C$  та  $C^1$  - вартість виготовлення інструменту зі сталі ДИ 23 та нової відповідно;

$B$  – кількість інструменту, виготовленого з 1 т сталі.

Повний економічний ефект  $\mathcal{E}_П$  від використання 1 т нової сталі рівний:

$$\mathcal{E}_П = \mathcal{E}_М + \mathcal{E}_И \quad (5.7)$$

Розрахунок економічного ефекту:

$$\mathcal{E}_М = 3,8 \cdot [56000 - 0,9 \cdot (0,4 \cdot 0,4 \cdot 2500 + 0,6 \cdot 1000)] - [131000 - 0,9 \cdot (0,4 \cdot 0,4 \cdot 5000 + 0,6 \cdot 1500)] = 209380 - 129470 = 79910 \text{ грн/т}$$

$$\mathcal{E}_И = (3,8 \cdot 120 - 120) \cdot 120 = 40320 \text{ грн/т}$$

Повний економічний ефект рівний:  $\Delta_{\Pi} = 79910 + 40320 = 120230$  грн/т

У подальші роки економічний ефект збільшиться на величину витрат на проведення науково-дослідницької роботи та технологічних випробувань, оскільки витрати будуть виплачені в першому році.

#### ВИСНОВКИ:

Застосування результатів даної науково-дослідницької роботи на практиці має економічне обґрунтування. Доцільність впровадження даної розробки підтверджується проведеними вище розрахунками.

Найголовнішими факторами для використання нового сплаву замість сталі 5Х3ВМФС є:

- підвищення стійкості матриць для пресування сплавів у 3,8 разів;
- зменшення витрат матеріалу у кількісному вираженні;
- зменшення витрат на виготовлення інструменту.

Очікуваний економічний ефект від впровадження науково-дослідницької роботи становить 120230 грн/т при витратах на дослідження 130860 грн.

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі розглядаються заходи безпеки при дослідженні нікелевих сплавів, які призначені для підвищення теплостійкості пресових інструментів.

### 6.1 Аналіз потенційних небезпек

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

б) небезпеки, які пов'язані з порушенням вимог ергономіки стосовно організації робочих місць дослідників в приміщенні дослідницької лабораторії;

в) небезпеки, які пов'язані з процесом термообробки, зокрема термічні опіки внаслідок відсутності або не використання індивідуальних засобів захисту;

г) небезпеки, які пов'язані з випробуванням механічних властивостей та мікроструктури методом оптичної мікроскопії зокрема можливості отримання механічних травм;

д) небезпеки які пов'язані із дослідженням мікроструктури на електронному мікроскопі, зокрема негативний вплив іонізуючих випромінювань, що може привести до розвитку тяжких захворювань;

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

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

ж) можливість загоряння внаслідок порушення правил безпеки чи виходу з ладу обладнання може призвести до пожегу;

з) небезпеки які пов'язані із умовами праці у надзвичайних ситуаціях

## 6.2 Заходи по забезпеченню безпеки.

а) для виключення можливості ураження електричним струмом згідно з ПУЭ – 2011 «Правила устройства электроустановок» передбачається:

- всі співробітники лабораторії повинні мати 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».

- 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 фокусу чого електроду, треба зняти заряд з катодного вузла шляхом його заземлення.

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

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

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

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

в) У відповідності до вимог «Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту», яке затверджене наказом Держгірпромнагляду 24.03.2008 № 53 та зареєстровано в Міністерстві юстиції України 21 травня 2008 р. за № 446/15137 лаборант металографічної лабораторії при роботі з лабораторними муфельними

печами повинен мати: халат бавовняний, берет бавовняний, фартух брезентовий з нагрудником з вогнезахисним просоченням, туфлі шкіряні нагумовій підшві, рукавиці брезентові із вогнезахисним просоченням, окуляри захисні закриті.

г) Для попередження термічних та хімічних опіків передбачено виконання роботи в спецодязі (халат, рукавиці) відповідно до ДСТУ 3962-2000 та ГОСТ 12.4.137-2001.

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

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

Розливання кислот з пляшок проводиться за допомоги сифонів під витяжкою шляхом нахилу пляшки в корзині двома робочими. Якщо витяжка відсутня, то розливання проводиться у протигазах. Згідно з ГОСТ 12.4.103-83 «Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук. Классификация» під час розливання робочі повинні бути одягненими у гумові фартухи, рукавиці, чоботи та захисні окуляри.

Травлення шліфів хімічними реактивами проводити у витяжній шафі. Поруч повинна бути проточна вода.

У випадку використання міцних реактивів травлення проводити в гумових рукавицях обов'язково у витяжній шафі.

Передбачено перенесення лугів та лужних металів пінцетом або фарфоровою ложкою.

Розчинення твердих їдких лугів проводиться у жаростійкій посуді. Товстостінні сосуди від нерівномірного нагрівання можуть лопнути.

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

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

а) ретельно промити місце опіку великим струменем води;

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

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

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

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

Безпека роботи з електронним мікроскопом залежить від точності дотримання вимог з техніки безпеки, котрі запроектовані для даної лабораторії та правильності експлуатації обладнання. Для проведення робіт на електронному мікроскопі необхідно одержати два дозвільні документи: Ліцензію на право ведення робіт з джерелом іонізуючого випромінювання в органах Держатомрегулювання України та Санітарний паспорт в Запорізькій обласній СЕС.

Для електронного мікроскопу передбачені заходи захисту у відповідності з вимогами «Норм радіаційної безпеки України (НРБУ – 97)» та ОСП-72/88 «Основні санітарні правила роботи із радіоактивними речовинами та іншими джерелами іонізуючого випромінювання».

До робіт на електронному мікроскопі допускаються особи не молодше 18 років, які не мають медичних протипоказань. Співробітники ЗНТУ, що працюють на електронному мікроскопі, відносяться до категорії А (персоналу). Вони проходять обов'язковий попередній медичний огляд при вступі до роботи, а також періодичні медичні огляди один раз на рік.

Персонал допускають до роботи на електронному мікроскопі після навчання і перевірки знань комісією, призначеною наказом ректора ЗНТУ, один раз на рік.

Після довготривалої перерви в роботі, перед тим, як ввімкнути прискорюючу напругу, провести відпомпування колони на високий вакуум протягом 3-4 годин. Прискорюючу напругу збільшувати поступово, починаючи з мінімальної для конкретного приладу. Юстировку електронного мікроскопу проводять тільки при відсутності забруднення у колоні і при мінімальному струмі електронного пучка. Профілактику мікроскопу проводити тільки під керівництвом наукового співробітника або інженера, який має право налагодження як мікроскопа в цілому, так і окремих його вузлів і систем. При кожному навіть незначному нещасному випадку (порізи, уколи, опіки, засолення очей тощо) необхідно негайно звернутися в медпункт та обов'язково доповісти про це керівнику групи або завідувачу лабораторії.

### 6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

е) Розглянемо комплекс заходів щодо забезпечення належних санітарно-гігієнічних умов праці в лабораторії.

Вимоги санітарії до параметрів повітряного середовища виробничих приміщень наводяться ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». Для нормальної роботи в лабораторії запроектовано підтримання оптимальних норм температури, відносної вологості і швидкості переміщення повітря, значення яких наведені в табл.6.1.

Для підтримування температури повітря на належному рівні пропонується використовувати кондиціонування повітря, вентиляція -



природна (провітрювання) та механічна - загальнообмінна у відповідності з вимогами СНиП 2.04.85-86 «Отопление, вентиляция, кондиционирование. Нормы проектирования». Поряд з використанням вентиляції. У шафі для зберігання реактивів передбачено встановлення витяжної вентиляції.

Таблиця 6.1 - Оптимальні норми температури, відносної вологості і швидкості переміщення повітря у робочій зоні виробничих приміщень

Сезон року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість переміщення повітря, м/с
Холодний і перехідний період року	Легка, I	20-23	60-40	0,2
Теплий період року		22-25		

Об'єм повітря, що видаляється за допомогою витяжної вентиляції розраховується за формулою :

$$L = F \cdot V \cdot 3600 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Та дорівнює :  $L = 5,9 \cdot 0,5 \cdot 3600 = 10620 \text{ м}^3/\text{год.}$

Також передбачається проведення вологого прибирання в приміщенні.

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

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

- електростатичні поля;
- електромагнітне випромінювання;
- локальне стомлення, загальна втома;

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

Види трудової діяльності поділяються на 3 групи:

Група А - робота із зчитуванням інформації з екрану комп'ютера з попереднім запитом;

Група Б - робота з введенням інформації;

Група В - творча робота в режимі діалогу;

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

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

- для групи А - по сумарному числу опрацьованих знаків за час роботи

з комп'ютером, але не більше 60 000 знаків;

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

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

Для забезпечення оптимальної працездатності і збереження здоров'я протягом часу роботи необхідно переконатися, що монітори комп'ютера мають антиблікове покриття (окрім групи А) з коефіцієнтом відбиття не більше 0,5. Покриття повинне також забезпечувати зняття електростатичного заряду з поверхні екрана, іскріння і накопичення пилу. Корпус монітора повинен забезпечувати захист від іонізуючих та неіонізуючих випромінювань. Необхідно перевірити робоче положення комп'ютера від стань між стіною з віконними прорізами і столом має бути

не менше 0,8 м. При невеликій кількості робочих місць бажано розташувати столи біля протилежної стіни щодо віконних прорізів. Відстань між робочими столами повинно бути не менше 1,2м. Не допускається знаходження другого робочого місця з боку задньої стінки комп'ютера. Оптимальними параметрами температури в кабінеті є 19-21°C, допустимі 18-22°C, відносна вологість повітря 62-55%.

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

#### 6.4 Заходи з пожежної безпеки

ж) До заходів щодо пожежної профілактики відносяться організаційні (правильна експлуатація машин, утримання будівель, організація дружин, пожежно-технічних комісій, видання наказів з питань посилення пожежної безпеки, тощо); технічні (дотримування протипожежних правил, норм при проектуванні будівель, при улаштуванні електроустаткування, опалення, вентиляції та ін.); експлуатаційні заходи (своєчасні профілактичні огляди, ремонт та випробування обладнання); заходи режимного характеру - це заборона палити в невстановлених місцях, виконання зварювальних робіт.

Приміщення лабораторії електронної мікроскопії у відповідності до СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания промышленных предприятий».

Нормы проектирования» є пожежонебезпечним і відноситься до категорії Д (виробництва, що переробляють негорючі матеріали в холодному стані). Для даної категорії у випадку, якщо допустима кількість поверхів не обмежується, ступінь вогнестійкості будівель - I і II, площа поверху між протипожежними стінами будівель не обмежується.

У відповідності з вимогами СНиП 2.01.02-85 «Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений», передбачаються шляхи евакуації працівників у випадку пожежі (евакуаційні виходи). Для категорії виробництва Д, незалежно від об'єму приміщення, для I і II ступеню вогнестійкості будівель, відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу не обмежується. Запроектовано використовувати обладнання, силові і освітлювальні мережі, котрі відповідають вимогам пожежної безпеки.

Оточуюче середовище в лабораторії - невибухонебезпечне (не містить значної кількості струмопровідного пилу, водяної пари, агресивних газів та парів в концентраціях, які негативно впливають на обладнання, матеріали та ізоляцію).

Застосування автоматичних засобів пожежної сигналізації дозволяє сповістити персонал про пожежу і місце її виникнення. Пожежні оповісники перетворюють неелектричні фізичні величини (випромінювання теплової і світлової енергії, рух частинок диму) в електричні, що у вигляді сигналу визначеної форми спрямовуються до прийомної станції.

Передбачено наявність в лабораторії одного порошкового вогнегасника типу ОП-5 (клас пожежі Д - пожежі металів та їх сплавів). Розташовується вогнегасник при вході у дослідницьку лабораторію. Відстань від можливого осередку пожежі до місця розташування вогнегасника не повинна перевищувати 70 м .

При виникненні пожежі в дослідницькій лабораторії необхідно: негайно викликати пожежну частину за телефоном (9-101), прийняти міри

до евакуації співробітників, вимкнути обладнання від електромережі, вжити заходи щодо обмеження розповсюдження пожежі, сповістити адміністрацію та керівника лабораторії, покинути небезпечну зону і приступити до ліквідації пожежі первинними засобами пожежогасіння (вогнегасником, що розташовується при вході в лабораторію).

### 6.5 Заходи з цивільної оборони

з) 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.

Стратегія запобігання причин виникнення надзвичайних ситуацій передбачає недопущення таких дій або процесів, які несуть загрозу населенню. Дана стратегія здійснюється або відмовою від будівництва небезпечних об'єктів, або знищенням чи перепрофілюванням виробництв - джерел підвищеної небезпеки.

Друга стратегія - запобігання самої НС - передбачає недопущення 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 превентивної евакуації.

Третя стратегія - пом'якшення наслідків - передбачає орієнтацію на ослаблення, локалізацію наслідків НС. Ця стратегія має пріоритет в управлінні стихійними лихами і ситуаціями «комбінованого» типу.

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

Превентивні:

- аналіз і встановлення зовнішніх і внутрішніх причин, що ведуть до катастрофи;
- 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 формувань і громадян способам захисту;
- підготовка надійного КП управління.

Оперативні:

- оповіщення про НС;
- проведення всіх видів розвідки та оцінка обстановки;
- проведення екстрених захисних заходів (укриття в ЗС, евакуація, використання ЗІЗ);
- 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;
- термінове постачання постраждалих продовольством та іншими життєво необхідними засобами;
- введення аварійно-відновлювальних робіт.

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

1. Стадія прийняття екстрених заходів. Мета - задіяти механізм надзвичайного управління і вчасно зреагувати на НС. Основні завдання 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 мобільних сил пожежної охорони, швидкої медичної допомоги, охорони громадського порядку та інших служб для допомоги постраждалим, сприяння місцевим органам влади в організації рятувальних робіт і локалізації зони лиха власними силами; інформування населення та вищестоящих органів управління про НС та вжиті заходи. Тривалість початкової стадії - 1-10 годин.

2. Стадія оволодіння ситуацією та організації механізму надзвичайного управління в зоні лиха, у плануванні та проведенні рятувальної операції відповідного масштабу. Задача: детально оцінити обстановку, терміново прийняти обґрунтоване рішення і уточнити план ліквідації наслідків НС; розрахувати необхідні сили і засоби, ресурси для всього комплексу робіт в зоні лиха, організувати чітку взаємодію всіх залучених сил і аварійних служб. Тривалість другої стадії - від кількох годин до кількох діб.

3. Основна і визначальна стадія. Мета - перебороти надзвичайний характер ситуації: відновити безпеку населення в зоні лиха, ліквідувати загрозу життю і здоров'ю всім постраждалим, створити мінімально необхідні умови для життєдіяльності населення, що залишилося. Задача: розгортання в найкоротші терміни 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 водо, тепло-, газо-, електричних системах і зв'язку в зоні лиха. Тривалість - кілька діб - кілька тижнів.

4. Стадія відновлення, тобто економічна, соціальна, культурна та екологічна реабілітація зони лиха. Органи надзвичайного управління вичерпали свою роль і передають функції постійної дії місцевим органам

управління. Розробляється спеціальна програма з черговістю комплексу заходів з реабілітації зони лиха.

Таким чином, основними заходами безпеки при дослідженні є:

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

- всі співробітники лабораторії повинні мати 2-3 групу з електробезпеки;

- використання паралельного заземлення електричного обладнання, яке передбачається перевіряти не рідше ніж два рази на рік;

- використовувати ізоляцію проводів;

- перед початком роботи перевіряти справність приладів; до роботи приступати лише після усунення несправностей;

- тримати робоче місце в чистоті та порядку задля попередження травмування.

- при роботі з реактивами використовувати захисний спецодяг (халат, рукавиці).

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

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

- запропоновано використовувати кондиціонування повітря, вентиляція - природна (провітрювання) та механічна –встановлення витяжної вентиляції. Об'єм повітря, що видаляється за допомогою витяжної складає 10620 м<sup>3</sup>/год.

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



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

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

## ВИСНОВКИ

1. З використанням методики математичного планування експерименту дрібної репліки  $2^{4+1}$  отриманні рівняння регресії впливу на легування алюмінієм (2,3-4,1%), молібденом (до 5,3%), ніобієм (до 2%) та вольфрамом (до 4,6 %) на механічні властивості сплавів на основі нікелю, що зміцнюються  $\gamma$  - фазою типу  $Ni_3(Al, Ti)$ .

2. Встановлено, що після термічної обробки в сплавах, що мають номери 1 - 13 присутня практично тільки  $\gamma$  - фаза типу  $Ni_3(Al, Ti)$ . Відносна її кількість зростала у найменш легovanому сплаві нульового рівня практично до 19,1 %.

3. При дослідженні мікроструктури виявлено, що в сплавах практично відсутні глобулі первинних надлишкових фаз. Частинки зміцнювальної  $\gamma$  - фази мають форму близьку до сферичної.

4. Із досліджених рівнянь регресії видно, що найбільше на характеристики міцності впливає алюміній. Із збільшенням вмісту Al при всіх температурах досліджень збільшуються показники міцності та твердоті, проте знижується ударна в'язкість. Молібден підвищує гарячу твердість, вплив ніобію незначний, вольфрам підвищує границю плинності та міцності при температурі 950 °C.

5. Дослідження сплавів на гаряче зношення вказують на тенденцію підвищення зносостійкості при вмісті в сплаві ніобію.

6. При порівнянні температурних залежностей твердості нікелевого сплаву, з нульовим рівнем планування, та серійною штамповою сталлю марки 5X3B3MFC можна сказати, що в серійній сталі твердість значно знижується із підвищенням температури, а в нікелевому сплаві навпаки відповідає необхідному рівню.

7. Результати промислових випробувань матриць із нікелевого сплаву та серійної штампової сталі показали, що при використанні обраного сплаву стійкість матриць за постановку збільшується з 6 до 48.

8. Розглянуті питання з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

9. Використання нового сплаву замість серійної штампової сталі дозволяє в 3,8 разів підвищити стійкість матриць. Економічний ефект від провадження становить 120230 грн/т.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Шевакин Ю.Ф. Инструмент для горячего прессования тяжелых цветных сплавов/ Ю.Ф. Шевакин, А.А.Нагайцев, Д.Х.Пигузова, Л.М.Грабарник. – М.: Машиностроение, 1983. – 168с.
2. Артингер И. Инструментальные стали и их термическая обработка [пер. с венг.] /Артингер И. – М.: Metallurgiya, 1982. – 313с.
3. Геллер Ю.А. Инструментальные стали/ Геллер Ю.А. – М.: Metallurgiya, 1983. – 526с.
4. Кремнев Л.С. Теория легирования и создание на ее основе теплостойких инструментальных сталей и сплавов /Л.С. Кремнев // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka – 2008 - №11 – С.18 – 27
5. Позняк Л.А. Штамповые стали // Л.А.Позняк, Ю.М.Скрынченко, С.И.Тишаев.– М.: Metallurgiya, 1980. – 244с.
6. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справ.: в 3 т. / под общ. ред. Н. П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 2001. – Т. 3. – Кн. 1. – 872 с.
7. Свойства элементов. Ч1. Физические свойства: справочник/ под.ред. Г.В.Самсонова. – 2-е изд. – М.: Metallurgiya, 1976.-600 с.
8. Гольдштейн М. И., Грачев С. В., Векслер Ю. Г. Специальные стали. Учебник для вузов. – 1985.
9. Каблов, Е.Н. Современные литые никелевые жаропрочные сплавы / Е.Н. Каблов, Н.Е. Петрушин, И.Л. Светлов // Труды международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения С.Т. Кишкина. – М., ВИАМ., 2006. – с.39-55.
10. Ч.Симс , В.Хагель. Жаропрочные сплавы . – М.:Metallurgiya, 1976.- 111 с.
11. Захаров М.В. Жаропрочные сплавы / М.В. Захаров, А.М.Захаров. – М.: Metallurgiya, 1972. – 245 с.

12. Каблов Е. Н., Логунов А. В., Сидоров В. В. Особенности легирования и термообработки литейных жаропрочных никелевых сплавов (Часть I) //Материаловедение. – 2001. – №. 4. – С. 9-15.
13. Колачев, Б. А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов: учеб. для вузов / Б. А. Колачев, В. И. Елагин, В. А. Ливанов. – 4-е изд. – М.: МИСиС, 2005. – 432 с.
14. Шевакин Ю.Ф. Инструмент для горячего прессования тяжелых цветных сплавов / Ю.Ф. Шевакин, А.А.Нагайцев, Д.Х.Пигузова, Л.М.Грабарник. – М.: Машиностроение, 1983. – 168с.
15. Масленков С.Б. Стали и сплавы для высоких температур: Справочник в 2-х томах / С.Б.Масленков, Е.А.Масленкова. – М.: Металлургия, 1991. – 831 с.
16. Основы экономики и технологии важнейших отраслей хозяйства: учебное пособие / Н. В. Кавкаева. – М. – Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 236 с.
17. Жидецкий В.Ц. Основы охраны труда/В.Ц.Жидецкий, В.С.Джигирей, А.В.Мельников. – Л.:Афиша, 2000. – 351 с.
18. Арустамов Э.А. Охрана труда: Справочник / Арустамов Э.А. – М.: Дашков и Ко, 2008. – 588 с.
19. Леонова А.Б. Психология труда и организационная психология: современное состояние и перспективы развития: Хрестоматия / А.Б.Леонова, О.Н. Чернышева – М.: Радикс, 1995. – 448 с.
20. Основы охорони праці: Навч. посіб. / В. В. Березуцький, Т. С. Бондаренко, Г. Г. Валенко та ін.; За заг. ред. В. В. Березуцького. – 2-ге вид.,перероб. і доп. – Х.: Факт, 2007. – 480 с.
21. СТП 15-96 Пояснювальні записки до курсових та дипломних проектів (робіт). – Запоріжжя: ЗДТУ, 1996. – 36 с.