МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Фізико - технічний, Інженерно - фізичний
(повне найменування інституту, факультету)

Фізичне матеріалознавство
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)
Магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему Пошук ефективних режимів сходинкового старіння для підвищення механічних властивостей штампового сплаву ХН35В6ТЮ.

Виконав: студент(ка) VI курсу, групи ІФ-219м

Спеціальності 132 матеріалознавство
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Прикладне матеріалознавство

Тімченко П. Ф.
(прізвище та ініціали)

Керівник Грабовський В. Я.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Єршов В. М.
(прізвище та ініціали)

2020

Форма № 25

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

Інститут, факультет Фізико-технічний, Інженерно-фізичний
Кафедра Фізичного матеріалознавства
Ступінь вищої освіти Магістр
Спеціальність прикладне матеріалознавство 132
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) прикладне матеріалознавство
(назва освітньої програми (спеціалізації)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ДТН, професор
Ольшанецький В.Ю.
«____» ________ 20__ року

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

Тімченко Павло Федорович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Пошук ефективних режимів сходинкового старіння для підвищення механічних властивостей штампового сплаву ХН35В6ТЮ.
керівник проєкту (роботи) Грабовський В.Я., доцент к.т.н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом закладу вищої освіти від « 13 » листопада 2020 року № 327
2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 07 грудня 2020
3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Вимоги до матеріалу, літературні дані, креслення, характеристики сплаву ХН35В6ТЮ, вимоги до інструменту, властивості при виготовленні інструменту гарячого пресування.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Особливості сплавів з γ'-фазою типу $Ni_3(Al,Ti)$ для високих температур експлуатації. 2. Матеріали та методики досліджень. 3. Результати впливу термічної обробки на характеристики сплаву ХН35В6ТЮ. 4. Економічна частина. 5. Охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1 Характеристика сплаву і результати загартування і одинарного старіння. 2. Температурна залежність властивостей 3. Інтервали варіювання і матриця планування. 4. Рівняння регресії і таблиця властивостей. 5. Мікроструктура і крива розподілу. 6. Графік Т.О.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1.2.3	Грабовський В.Я. доц. к.т.н.	15.09.20	11.11.20
Економ част	Кругликова В.В доц. к.е.н.		
Охорона праці	Несмеров О.В. доц. к.т.н.	03.10.20	03.12.20

7. Дата видачі завдання «15» Вересня 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1.	Особливості сплавів з β-фазою типу $Ni_3(Al, Ti)$ для високих температур експлуатації	Вересень	
2.	Матеріали і методики досліджень	Жовтень	
3.	Результати впливу термічної обробки на характеристики сплаву ХН35ВБТЮ.	Листопад	
4.	Економічна частина	грудень	
5.	Охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях.	грудень	

Студент(ка) _____ (підпис) Тімченко Т.Ф. (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи) _____ (підпис) Грабовський В.Я. (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 75 сторінки, 14 рисунків, 12 таблиць, 23 джерела.

Об’єкт дослідження – сплав ХН35В6ТЮ

Мета роботи – обґрунтування доцільності і дослідження ефективності використання сходинкового старіння сплаву ХН35В6ТЮ і для підвищення його твердості та високотемпературної ударної в’язкості .

Методи дослідження – визначення твердості та механічних властивостей, металографія, електронна мікроскопія, методика математичного планування експерименту.

Досліджено впливу гартування та одинарного старіння на механічні властивості сплаву ХН35В6ТЮ. Були обрані інтервали варіювання температур та тривалостей сходинкового старіння для матриці планування 2^{4-1}. Одержані експериментальні дані та розраховані рівняння регресії опису впливу сходинкового старіння твердість та ударну в’язкість сплаву ХН35В6ТЮ. Обрано найбільш ефективні режими сходинкового старіння, що в 3 рази підвищують високотемпературну ударну в’язкість та забезпечують більшу твердість досліджнного сплаву. Показано, що ефективність сходинкового старіння обумовлена особливостями виділення частинок зміцнювальної γ'-фази типу $Ni_3(Al,Ti)$.

Розраховано економічну ефективність нового проекту.

Розглянуто техніку безпеки на підприємстві та охорони оточуючого середовища.

СПЛАВ ХН35В6ТЮ, γ'–ФАЗА $Ni_3(Al,Ti)$, ТВЕРДІСТЬ, УДАРНА ВЯЗКІСТЬ, СХОДИНКОВЕ СТАРІННЯ, МАТРИЦЯ ПЛАНУВАННЯ, РІВНЯННЯ РЕГРЕСІЇ, ПІДВИЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ, МІКРОСТРУКТУРА, ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ, ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.

Зміст

Вступ 8

1 Особливості сплавів з γ'–фазою типу $Ni_3(Al,Ti)$ для високих температур експлуатації 9

Перспективність використання сплавів, що зміцнюються γ'-фазою типу $Ni_3(Al,Ti)$, для інструментів гарячого деформування… 9

Основи дисперсійного твердіння сплавів 12

Використання γ'-фази типу $Ni_3(Al,Ti)$ в сплавах з високим опором знеміцненню при нагріванні 13

Доцільність застосування сходинкового старіння сплавів із дисперсійним твердінням 16

Постановка задачі та мета дипломної роботи… 21

2 Матеріали та методики досліджень 23

Хімічний склад та технологія отримання сплавів 23

Виготовлення зразків та визначення механічних властивостей 24

Термічна обробка 24

Дослідження мікроструктури 24

Використання методики математичного планування експерименту 25

3 Результати дослідження впливу термічної обробки на характеристики сплаву ХН35В6ТЮ… 28

Вибір гартування та одинарного старіння сплаву 28

..... Гартування… 28

..... Старіння… 30

3.2.3 Температурна залежність механічних властивостей сплаву 32

Вплив сходинкового старіння на механічні властивості… 33

Вибір значень параметрів сходинкового старіння для математичного планування експерименту 33

..... Обробка та аналіз результатів матриці планування… 34

..... Визначення найбільш ефективних режимів сходинкового старіння… 38

Рекомендації по використанню сходинкового старіння сплаву ХН35В6ТЮ… 40
Технологія термічної обробки сплаву ХН35В6ТЮ із сходинковим старінням 41
Висновки..... 49
Література..... 50
ДОДАТОК А 53
ДОДАТОК Б.....62

ВСТУП

Для вироблення інструментів гарячого пресування металів зазвичай використовують серійні теплостійкі штампові сталі мартенситного класу. Однак недостатня їх високотемпературна міцність робить неможливим їх використання при температурах експлуатації вище 700 °С. В цьому випадку перспективним є використання замість них сталей та сплавів на основі ГЦК кристалічній гратці з дисперсійним твердінням. Відсутність α => γ – перетворення, мала дифузійна рухливість атомів кристалічної решітки основи, і висока термічна стабільність зміцнювальних фаз в аустенітних сталях і сплавах обумовлюють значну перевагу їх над штамповими сталями мартенситного класу в опору пластичній деформації при температурах вище 700 - 750 °С. Внаслідок цього такі сталі та сплави охарактеризуються більш високими експлуатаційними характеристиками. З урахуванням цього розроблено щтамповий сплав із залізонікелевою основою марки ХН35В6ТЮ, що зміцнюються частинками γ'-фази типу $Ni_3(Al,Ti)$.

Найбільш оптимальноа структура з’являється після гартування від 1100-1150 °С і наступного старіння отриманого після гартування аустеніту при 700 – 800 °С. Метою гартування є утворення пересиченого твердого розчину, метою старіння є утворення необхідної структури - γ’-фази типу $Ni_3(Al,Ti)$. Водночас для більшої ефективності використання сплаву необхідно підвищення його механічних ударну в’язкість, зокрема твердості та високотемпературної ударної в’язкості. Ефективним способом підвищення комплексу механічних властивостей сплавів із дисперсійним зміцненням є використання сходикового старіння замість традиційного одинарного. Згидно багатьбом дослідженням [1 та інші] це забезпечує приріст твердості і опору пластичній деформації при підвищених температурах. Враховуючи викладене методою роботи є обгрунтування доцільності і дослідження ефективності використання сходинкового старіння сплаву ХН35В6ТЮ для підвищення його твердості та високотемпературної ударної в’язкості.

1 ОСОБЛИВОСТІ СПЛАВІВ З γ'–ФАЗОЮ ТИПУ $Ni_3(Al,Ti)$ ДЛЯ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Перспективність використання сплавів, що зміцнюються γ'-фазою типу $Ni_3(Al,Ti)$, для інструментів гарячого деформування

Основними технологічними операціями гарячого деформування є об'ємне штампування, формування, різання, кування, тощо. Найбільш важконагруженими являються – штампування і гаряче пресування.

По умовам роботи штампові інструменти для гарячого деформування можна розділити на три основні групи:

- пресові інструменти – під час роботи піддаються умовно повільної загрузки, це приводить до довгого контакту з заготовкою і з цього слідує, до значного розігріву поверхні;
- інструменти молотових штампів – під час роботи піддаються великих ударних напружень, але внаслідок недовготривалого контакту інструмента з заготовкою їх поверхня розігрівається до менш високих температур ніж у пресових;
- інструменти для високошвидкісного деформування – піддаються високим ударним навантаженням. Принциповою відмінністю є короткочасність як теплової так і силової взаємодії.

Розглянемо наступні основні характерні особливості роботи інструментів при гарячому деформування.

Високий розігрів штампових інструментів в процесі роботи. Із досліджень було виявлено, що температура поверхневих шарів (товщиною до 0.6-1.0 мм) штампових інструментів швидкістних молотів і пресів може досягати при штамповці жароміцних сплавів та інших важкодеформівних матеріалів 650–750 °С; при цьому основна маса штампа залишається прогрітою до 400-500 °С. При деяких процесах гарячого пресування поверхневі шари робочої частини штампу глибиною в декілька мікрон прогрівається до значних

температур, в 800-1000 °С. Максимальні температури розігріву поверхневих шарів робочих частин молотових штампів досягають, виходячи із досліджень, 500-550 °С [2].

Значний вплив на тепловий баланс штампувальних інструментів оказує тип і якість змащування, а також метод і інтенсивність охолодження.

Одночасний вплив циклічно мінливих температур і тиску. Накладення робочих і термічних напружень в поєднанні з конструктивно неминучих і технологічних концентраторів призводить до утворення в тілі штампу складного навантаженого стану.

Великі питомі навантаження на інструмент. Вони залежать від виду штампувального матеріалу, температури нагрівання, конфігурації деталі, якості змазки, ступеню видалення окалини, величини зносу штампу, тощо.

Опір деформуванню сталей і сплавів в значній мірі залежить від швидкості деформування (з підвищенням швидкості – опір деформуванню, як правило, підвищується). Питомий опір при штампуванні на молотах віще, ніж на пресах, а середній питомий опір при швидкісному деформуванні набагато перевищує подібні при штампуванні на пресах і молотах, і складають від 3 до 9 МПа.

Задача підвищення межових температур експлуатації високонавантаженого штампового інструменту і пресувального інструмента для гарячого деформування металів буде завжди залишатися актуальною. Протікання в штампових сталях мартенситного класу поліморфного $\alpha \Rightarrow \gamma$ – перетворення в значній мірі обмежує температуру їх експлуатації. Показано, що навіть нанесення на робочу поверхню матриць міцного ізоляційного покриття (напилення шару оксиду цирконію) не запобігає їх сильному знеміцненню і швидкому виходу з ладу [2].

За високотемпературною (більше 700 °С) міцністю такі сплави суттєво переважають високо теплостійкі штампові сталі мартенситного класу, що показано на рис. 1.1 для серійних жароміцних сплавів на нікелевій основі.

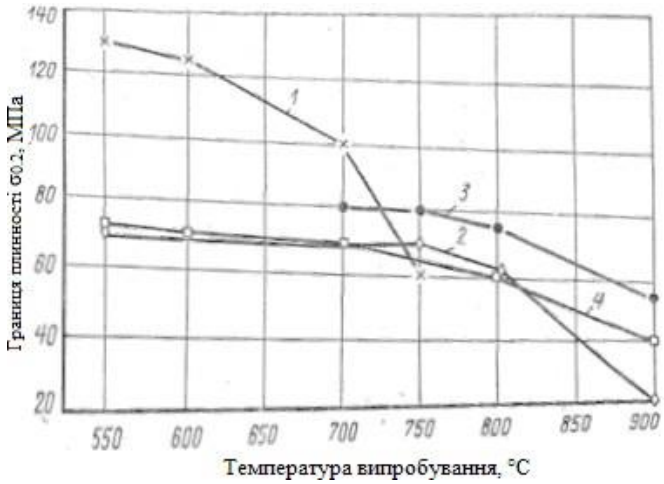


Рисунок 1.1 – Границя плинності при нагріванні:
1 – штампової сталі 2Х6ВМ2К8 і аустенітних сплавів; 2 – ХН35В6ТЮ;
3 – ХН56ВМК10; 4 – ХН70ВМТЮ

Аустенітні сталі переважають штампові сталі, загартовані на мартенсит, в твердості і опору пластичній деформації при температурах вище 730 – 750 °С. Границя плинності 700 – 750 МПа у багатьох із них сохраняється при 800 – 850 °С, а у штампової сталі високої теплостійкості вона інтенсивно зменшується нижче цього рівня.

Для штампів використовують сталі і сплави, що мають твердість після старіння вище 40 – 42 HRC.

Аустенітні сталі і сплави мають ряд певних недоліків:

а) високий коефіцієнт теплового розширення до $25 \cdot 10^{-6}$ при 700 – 800 °С, що в 2,5 – 4 рази більше, ниж у штампових сталей. Це ускладнює використання аустенітних сплавів і сталей в виді заготовок і понижує стійкість проти розпалу; їх не можна використовувати при інтенсивному охолодженні штампа; б) пониженя теплопровідність; в) чутливість до насичення поверхневого шару вуглецем і до зниження його в’язкості; г) погана оброблюваність різанням. Деякі з них ріцаонально використовувати литими.

Через це аустенітні сплави використовують головним чином для виготовлення невеликих штампів простої форми, що піддаються підвищеним навантаженням при указаних температурах. При правильному виборі хімічного

складу в залежності від умов експлуатації, досягається значне підвищення стійкості у порівнянні із штамповими сталями [3].

ГЦК гратка більш щільнопакована, через що вона краще витримує опір пластичній деформації, а нікель це той легувальний елемент, що сприяє до переходу сталі до стабільної аустенітної структури, його кількість в таких сплавах >30%, тобто метою нікелю є утворення ГЦК гратки матриці.

Таким чином, матеріалі з необхідними властивостями повинні мати аустенітну структуру і відноситися до жароміцних сплавів із дисперсійним твердінням.

Аустенітні жароміцні сталі і сплави, які можуть використовуватись замість високо теплостійких серійних штампових сталей. зміцнюються при старінні внаслідок виділення γ' фази $Ni_3(Al,Ti)$. Термічна обробка їх включає нагрівання до 1150-1180 °С, охолодження на повітрі і старінні при 750-800 °С впродовж 8-12 год. Відсутність α => γ – перетворення, мала дифузійна рухливість атомів кристалічної решітки основи, яка на порядок нижча, ніж α-решітка, і висока термічна стабільність зміцнювальних фаз в аустенітних сталях і сплавах обумовлюють значну перевагу їх над штамповими сталями мартенситного класу в твердості і опору пластичній деформації при температурах 730-750 °С і вище [3].

Основи дисперсійного твердіння сплавів

Дисперсійне твердіння - це зміцнення сплаву в результаті виділення дрібних частинок іншої фази з пересиченого твердого розчину. Особливістю легування та дисперсійного твердіння сплавів з ГЦК-граткою є введення в їх структуру елементів, що стабілізують і покращують властивості сплаву. Саме по собі дисперсійне твердіння потребує попереднього гартування на пересичений твердий розчин [4].

Процес старіння складається з декількох послідовних стадій. початку в сплаві виділяються зони Геньє-Престона (ГП), потім повинна виділитись

проміжна метастабільна β'-фаза, і далі, при зростанні температури – стабільна β-фази. Перехід між цими фазами може відбуватися трьома різними способами. Перший – при підвищенні температури на базі зони ГП відбувається перероджения в проміжну фазу, а при подальшому підвищенні температури проміжна фаза, в свою чергу, перетворюється в стабільну фазу. Друга теорія являє собою утворення кожної наступної фази на попередній, як на основі. Третій погляд – утворення зон ГП, які розчиняються при підвищенні температури, зникають, і після цього утворюється проміжна метастабільна β'-фаза, потім, при подальшому підвищенні температури проміжна фаза також розчиняється, і на її місці утворюється стабільна фаза. Усі ці три погляди є теоріями, які мають право на існування і можуть відображатись в певних галузях і літературі.

Саме по собі дисперсійне твердіння - це зміцнення сплаву за рахунок виділення з пересиченого твердого розчину великої кількості дуже дрібних (дисперсних) частинок вторинної фази, які ефективно перешкоджають ковзанню дислокацій і, отже, підвищують міцність сплаву. Дисперсійне твердіння можливо в сплавах, що представляють собою тверді розчини з обмеженою розчинністю компонентів, в яких з пониженням температури зменшується розчинність одного з компонентів, що призводить до виділення вторинної фази [4].

Використання γ'-фази типу $Ni_3(Al,Ti)$ в сплавах з високим опором знеміцненню при нагріванні

Зростання опору знеміцненню при нагріванні залізонікелевих та нікелевих суттєво збільшується при дисперсійному зміцненні матриці за рахунок виділення дисперсійних часток γ'-фази типу Ni_3 Al. Вона має близькі з γ -фазою значення параметра кристалічної решітки, що обумовлює їх когерентну зв'язок. Параметри утворень часток γ'-фази і їх об'ємна частка визначають характеристики опір пластичній деформації. Жароміцність сплавів, зміцнених когерентними з матрицею виділеннями впорядкованої γ'-фази, залежить від стану цієї фази (дисперсності частинок, їх об'ємної частки, форми і розподілу) [13].

Сама γ'-фаза $Ni_3(Al,Ti)$ представляє з собе надструктуру типу Cu_3Au (LI_2) що має температуру плавлення в 1385°С. Вона може існувати в обмеженій області що складається з 20 сполук, але слід зауважити що легувальні елементи можуть в значній мірі замінювати будь-який елемент, що входить до складу сполуки. Досить часто інтерметалідну γ'-фазу типу $Ni_3(Al,Ti)$ використовують для зміцнення нікелевих сплавів. Відповідальні механізми авіаційних газових турбін, які працюють при підвищених температурах, виготовляють з високолегованих багатокомпонентних жароміцних нікелевих сплавів саме з таким зміцненням. Гетерофазною структура обумовлює високі експлуатаційні характеристики суперсплавів при температурах 950 - 1050 ºС, ця структура представляє з собе твердий розчин на основі γ-Ni, що зміцнений 40-70 % об'ємними дисперсними частинками γ' - Ni_3Al. Під час виділення упорядкованої фази типу Ni_3Al в сталях з основою FeNi, зберігається рівновагова кубічна форма при розмірі частинок 500 А. Міцність інтерметалідної γ' - фази підвищується з ростом температури, а пластичність не дає їй змоги стати джерелом руйнування. Як і твердий нікелевий сплав, вона має ГЦК структуру і виділяється когерентно. Опір повзучості нікелевих сплавів залежить від морфології виділених інтерметалідів і їх об’ємної частки, тобто чим дрібніші виділення і чим меншу відстань між собою вони мають, тим більший опір повзучості [14].

Виявлено, що моно-, і полікристали нелегованої γ' – фази ладні до підвищення напружень плину в інтервалі температур 20 - 800 °С, що продемонстровано на рис. 1.3.1.

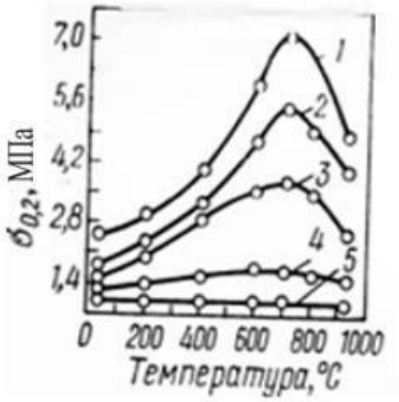


Рисунок 1.3.1 – Залежність границі плинності γ'–фази типу $Ni_3(Al,Ti)$ при збільшенні температури для різних ступеней деформації.
1 – сутність деформації 10-2; 2 – 10-3; 3 – 10-4; 4 – 10-5; 5 – 10-6

Через те що інші надструктури в незначній мірі пыдвищують міцність в вузькому інтервалі близько критичних температур упорядкування, таке пыдвищення міцності зв’язано з зміною ступеня упорядкування в залежності від температури. Величина і температурне положення максимуму напруженнь плинності γ'–фази слід змінювати легувальними елементами, а саме титаном, хромом і ніобієм. Між збільшенням значення напруження плинності та зміною температурного максимуму немає простого зв’язку. Тантал, ніобій та титан – зміцнювальні елементи γ' - фази що ефективно зміцнюють твердий розчин при кімнатній температурі. Вольфрам і молібден зміцнюють γ'– фазу як при кімнатній, так і при підвищених температурах, кобальт не зміцнює γ'– фазу в складі твердого розчину [14].

З рис. 3.1 видно, що при невеликих значеннях деформації напруження плинності не залежить від температури в інтервалі 250 – 950 ºС. Це означає, що дислокації в γ'– фазі не залежно від температури починають рухатися при постійному напруженні, але спостерігається підвищення деформаційного зміцнення при підвищенні температури.

За рахунок утворення дисперсних частинок вторинної γ'-фази типу $Ni_3(Al,Ti)$, відповідають Al і Ti. Легування сплавів на основі системи Ni-Cr алюмінієм призводить до утворення γ'-фази на основі інтерметаліду Ni_3Al з ГЦК

граткою). Між гратками матриці та фази існує когерентний тип зв'язку. Відповідно до діаграми стану системи Al-Ni розчинність алюмінію в нікелі знижується з 11% (мас.) при 1385 ºС до 6% при 750 °С. Інші легувальні елементи стабілізують цю, γ’-фазу, вповільнюють дифузію і зміцнюють твердий розчин.

Згідно ТУ 14-1-3416-82 розроблено аустенітний сплав ХН35В6ТЮ, який зміцнюється при старінні внаслідок виділення γ'-фази $Ni_3(Al,Ti)$. Відсутність α => γ – перетворення, мала дифузійна рухливість атомів кристалічної решітки основи, яка на порядок нижча, ніж α-решітка, і висока термічна стабільність зміцнювальних фаз обумовлюють значну перевагу при використанні цього сплаву у порівнянні із штамповими сталями мартенситного класу в твердості і опору пластичній деформації при температурах 730-750 °С і вище [13-14].

Доцільність застосування сходинкового старіння сплавів із дисперсійним твердінням

В наукових публікаціях досить часто обговорювались переваги та можливість застосування сходинкового старіння з метою покращення механічних властивостей сталей та сплавів, які зміцнюються дисперсійними частинками γ′-фази типу $Ni_3(Al,Ti)$ [10].

Явище звороту полягає в основі теорії сходинкового старіння. Його можна визначити як зниження властивостей сплаву, який попередньо піддавали старінню, при короткочасному високотемпературному нагріванні (нижче рівноважної кривої розчинності) до значень властивостей тільки загартованого сплаву. Явище звороту некоректно уявляти як стадію повного розчинення виділень фази, що утворюється і вважати, що увесь процес перетворень у старіючих сплаву можна виділити дві незалежні стадії - це низькотемпературне старіння під час якого відбувається виділенням зон Гіньє - Престона та високотемпературне – під час якого утворюються метастабільні та стабільні фази. Такий поділ відкидає можливість переходу одної фази в іншу при переході від низькотемпературного до високотемпературного старіння. Разом з цим, є

відомості що при розпаді твердого розчину сплаву присутній ефект структурної спадковості у ланцюгу перетворень.. Після аналізу структурних перетворень під час старіння (особливо при звороті) у ряді алюмінійових сплавів із застосуванням рентгеноструктурного метода дозволяє виявити, що розподіл старіння на високотемпературне та низькотемпературне є умовним. З цього слідує, що розпад у сплавах за схемою: зони Гіньє - Престона → метастабільна фаза → стабільна фаза можна розглядати як єдиний процес, під час якого послідовні стадії перетворення спадково змінюють іншу. Такі дані про структурну спадковість свідчать про те, що сам по собі процес звороту не завжди пов'язаний з повним розчиненням виділень. Є дані про дослідження процесу звороту у сплавах Al-Ag та Al-Zn, підгрунті яких був зроблений висновок, що не всі зони Гіньє - Престона розчиняються під час стадії звороту. Слід зауважити, що якби при звороті всі зони розчинилися, то при проведенні повторного старіння повинні були б спостерігатися дрібні зони меншої щільності. Однак розміри зон Гіньє - Престона після звороту та наступного старіння були більше, у порівнянні з результатами після прямого старіння тієї ж тривалості загартованого сплаву. Таке явище було пояснене на основі аналізу експериментальних даних з яких виходило, що мінімальна температура, вище якої відбувається повне розчинення когерентних виділень, не є константою для даного сплаву, а залежить від температури та тривалості низькотемпературного старіння, тобто від розміру, форми та особливостей внутрішньої структури виділень. Зміна цих параметрів веде до різної стійкості виділень на початку високотемпературної стадії. Тобто, метастабільна границя розчинності зон Гіньє - Престона або проміжних виділень не фіксована для даного типу виділення. З цього слідує, що, у ряді випадків є необхідним аналіз додаткових факторів, які приводять до звороту на стадії високотемпературного старіння сплаву [8].

Сходинкове старіння використовує ці послідовності, а саме, якщо зони Гіньє - Престона так би мовити зафіксувати, не даючи розчинитися, яке в свою чергу призведе до знеміцнення сплаву (зворот властивостей), шляхом витримки сплаву при температурах старіння. При наступному нагріванні в область

стабільної фази (β-фаза) під час наступного більш вискокотемпературного старіння, стабільна фаза буде утворюватись вже на зонах ГП, тим самим утворення буде проходити більш інтенсивно, об'емна частка частинок буде більше, і їх дисперсність також буде більшою. В результаті ми маємо стабільну β-фаза, але кількість її більше, а розмір частинок – менше, розподіл в об'ємі буде також більш рівномірним [10].

Глибина звороту у сплавах тим більша, чим більша невідповідність параметрів кристалітних граток матриці та виділення. Під час сходинкового старіння на низькотемпературній стадії може відбуватися релаксація пружних напружень, що здійснюється за рахунок:

а) Міграції легувального компонента і вакансій із зон Гіньє - Престона до повного, при повному звороті, або часткового, при неповному звороті, їх розчинення або зміни їх складу;

б) При переході кристалітної гратки зон ГП або проміжних фаз у іншу модифікацію;

в) При утворенні навколо виділень епітаксиальних дислокацій, внаслідок часткової або повної втрати когерентності без зміни типу кристалітної гратки.

Перший механізм релаксації сприяє звороту, в той час як останні підвищують стійкість виділень на високотемпературної стадії старіння. Розвиток релаксаційних процесів при низькотемпературному старінні, який призводить до часткової або повної втрати когерентності міжфазними межами, сприяє збільшенню термодинамічної стійкості частинок на стадії високотемпературного старіння і тим послаблює схильність до структурного звороту. Зі збільшенням ізотермічної витримки при низькотемпературному старінні стійкість зародкової фази при звороті зростає і є загальним явищем для сплавів і сталей, в яких первісні зародки здатні до росту при старінні [8].

Сходинкове старіння, яке поєднує в собі низькотемпературне та високотемпературне старіння є ефективним як метод термічної обробки старіючих сплавів, при якому одночасно досягається підвищення міцності і пластичності цих сплавах. Є відомості про дослідження сплавів на основі нікелю,

заліза та алюмінію що мають інтерметалідне та карбідне зміцнення та вивчення співвідношення в них характеристик міцності та пластичності після одинарного та двосходинковогоого старіння. Вивченнязалежності механічних властивостей досліджених сплавів показало, що головною перевагою двосходинкового старіння є можливість отримання найкращого поєднання міцності та пластичності. З даних після випробувань сталей 60Н25Ю3Ф та 40Х4Г18Ф і нікельового сплаву ЭИ437Б, можна зробити висновок, що при однаковому видовженні, значення границь текучості та міцності після сходинкового старіння знаходиться значно вище значень цих властивостей після одинарного старіння. Після двосходинкового старіння при 700 °С, 10 год. і 850 °С значення $\sigma_{0,2}$ та σ_B для нікельового сплаву покращується, і підвищуються на 20 % у порівнянні із стандартною обробкою з одинарним старінням при 700°, 16 год. або при 850 °С, пластичність зберігається на попередньому рівні, або незначно підвищується. З цього слідує, що при однаковій пластичності сплави, до яких застосовали комбіновану обробку, мають більшу міцність, а при однаковій міцності – більшу пластичність, у порівнянні із сплавами після одинарного ізотермічного старіння. Непогане співвідношення міцності та пластичності сплавів після двосходинкового старіння залежить також від вибору режимів старіння. Після комбінованого старіння спостерігається менше зниження, а інколи збереження, або навіть невелике підвищення міцності.. Сам ефект сходинкового старіння пов’язаний із особливими змінами мікроструктури, які виникають внаслідок через вплив попереднього низькотемпературного старінняна розпад при проведенні наступного високотемпературного старіння [8].

За допомогою електронно-мікроскопічного дослідження було встановлено, що після сходинкового старіння у матриці з’являється більш рівномірне розташування виділень при пониженні інтервалі відхилення розмірів від середнього. Підвищена дисперсність частинок при двосходинковому старінні обумовлена тим, що високотемпературне старіння, яке проводиться після низькотемпературного, починається з наявностю великої кількості центрів розвитку другої фази. Однією з важливих особливістей структури після

двосходинкового старіння - відсутність, або суттєве зменшення зон, вільних від виділень, поблизу границь зерен і грубих виділень метастабільної або стабільної фаз на границях. Це обумовлюється тим, що старіння при понижених температурах відбувається в умовах більшого пересичення сплаву легувальними елементамиі вакансіями, які забезпечують ефективне гомогенне зародження виділень і їх одночасний ріст та рівномірність по всьому об'єму сплаву. При сильному пересиченні сплаву понижується енергія активації зародження когерентних виділень. Саме через це після низькотемпературного старіння середня відстань між частинками видповідна до їх розмірів [6].

Під час звороту, що відбувається на початку високотемпературного старіння, нестійкі частинки розчтняютьсяв, а розподілення залишившихся частинок за розмірами відбвається більш однорідно. Через це підвищується їх конкурентноспроможність, через що попереджується поява крупних виділень під час високотемпературному старіння. Особливостю структурного механізму звороту можна видилити його дію як сепаратора при переході від низькотемпературного старіння до високотемпературного. Під час самого звороту покращується розподіл частинок за розмірами, при подальшому старінні отримуєься їх більш впорядкований розподіл по всьому об'єму зерна. Отримана структура, успадковується при високотемпературному старінні і є сприятливою для того, щоб досягти високих механічних властивостей. Більш рівномірний розподіл по об'єму зерна однакових за розміром частинок, і відсутність зон, що вільні від виділень біля меж зерен, може забезпечувати більш високу однорідну і пластичну деформацію зразків під час механічних випробувань. В таких зразках при наближенні, або навіть при збільшенні об'ємних часток дисперсних виділень після двосходинкового старіння, порівняно з одним високотемпературним, розбіжність відстані між частинами і по їх розміру менше. Сходинкове старіння є ефективним як у сплавах, що є стабільними по відношенню до фазових перетворень, і сплавах, в яких паралельно з розпадом пересиченого твердого розчину відбувається, наприклад, інще перетворення [6,9].

Таким чином, правильний науково обгрунтований вибір режиму двосходинкового старіння дає можливість забезпечити утворення мікроструктури з значно більшим просторово рівномірним розташуванням частинок близьких за розмірот, яке в свою чергу, визначає отримання оптимального поєднання пластичності і міцності сплавів.

Зазвичай для сплавів із дисперсійним твердінням проводять гартування на пересичений твердий розчин і старіння для розпаду пересиченого твердого розчину, тобто виділення зміцнювальних фаз. Але також є варіювання при проведенні старіння, а саме проведення сходинкового старіння, а це, в свою чергу, суттєво підвищує комплекс властивостей, а саме підвищення твердості, міцності на 30%, тощо. Також це є економічно вигіднішим ніж ускладнювати легування сплаву, тим самим підвищуючи його вартість [7,11].

Постановка задачі та мета дипломної роботи

Таким чином, згідно з розглянутими літературними даними, сплави, що зміцнюються γ'-фази $Ni_3(Al,Ti)$ є перспективними при використанні замість високотеплостійких штампових сталей. З урахуванням цього розроблено штамповий сплав ХН35В6ТЮ (ЭК39). Однак для покращення працездатності такого сплаву необхідно підвищувати його твердість та ударну в’язкість. Одним з ефективних шляхів є використання сходинкового старіння замість одинарного.

Таке старіння дає можливість забезпечити утворення мікроструктури з значно більшим просторово рівномірним розташуванням частинок близьких за розмірот, яке в свою чергу, визначає отримання оптимального поєднання пластичності і міцності сплавів..

Враховуючи сказане, мета дипломної роботи є обгрунтування доцільності і дослідження ефективності використання сходинвокого старіння сплаву ХН35В6ТЮ і підвищення його твердості та високотермпературної ударної в’язкості.

Для виконання поставленої мети слід вирішити такі задачі по дослідженню сплаву ХН35В6ТЮ:

- вибір раціонального режиму гартування;
- визначення режиму одинарного старіння, що забезпечує високий рівень дисперсійного твердіння;
- вибір інтервалів варіювання температур та часу для двосходинкового старіння, згідно матриці математичного планування експерименту 2^{4-1};
- розрахунок рівняння регресії вибір сходинкового старіння і вплив на механічні властивості;
- аналіз результатів та визначення найбільш ефективних режимів сходинкового старіння.
- дослідження мікроструктури сплаву для пояснення впливу сходинкового старіння на механічні властивості.

2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Хімічний склад та технологія отримання сплаву

В роботі досліджено сплав на залізо-нікелевій основі марки ХН35В6ТЮ (ЭК39) із дисперсійним твердінням, що виготовлений згідно ТУ 14-1-3416-82. Вміст компонентів в сплаві наведено в таб 2.1.

Таблиця 2.1 – Вміст компонентів сплаву ХН35В6ТЮ, масова частка елементів, %

C	Cr	Ti	Ni	Al	W	Si, Mn	Mg	Fe
≤0,08	12 – 14	1.8 – 2.3	34 – 36	0,08 – 1.2	5 – 7	≤0,6	≤0,04	решта

Сплав має ГЦК кристалічну гратку, легування забезпечує йому збільшення зміцнення при проведенні старіння за рахунок виділення дисперсних частинок фази типу $Ni_3(Al,Ti)$. Сплав виготовлено в умовах промислового виробництва (на заводі “Електросталь”). Для досліджень механічних властивостей використовувались ковані прутки сплаву діаметром 95 мм.

Виготовлення зразків та визначення механічних властивостей

Виготовлення зразків для механічних випробувань відбувалось із прутків діаметром 95 мм. Першою операцією було отримання шайб довжиною, що відповідаю довжині зразків. Далі шайби розрізали на плитки, що мали товщину 15 – 20 мм. Після гартування плити розрізали вздовж на заготовки необхідного перетину, з яких потім виготовили зразки для механічних випробувань. Зразки для дослідження мікроструктури та вимірювання твердості мали розмір 15х15х20 мм.

Визначення твердості проводилось при кімнатній температурі за Роквелом. При твердості в 20 HRC видбувався перехід від вимірювання за шкалою С (тобто

алмазний конус) до шкали В (сталева кулька). Попередньо до цього було встановлено, що для дослідження твердості аустенітних сплавів при переході від однієї шкали до іншої спостерігають відповідність в 20 HRC до твердості 100 HRB. Це означає що дані співпадають з переводом чисел твердості.

Випробування на розтяг за ГОСТ 1497-84 проводили на розривній машині ЦД10, зразки мали робочий діаметр 5 - 6 мм, і робочу довжину 25 - 30 мм.

Випробування на ударну в'язкість проводили на зразках менаже із U – подібним надрізом (радіус заокруглення 1 мм). Температура випробування на розтяг і ударний згин обирали в інтервалі 20 – 950ºС.

Термічна обробка

Термічну обробку виконували в муфельних печах опору. Температуру гартування варіювали в межах 1100 – 1200 °С, а температуру старіння 700 – 800 °С. Гартування зразків для механічних випробувань відбувалось до повного їх виготовлення (в заготовках), а старіння робили після виготовлення зразків. Охолодження при гартуванні виконували в маслі.

Дослідження мікроструктури

Мікроструктуру сплавів, вивчали за допомогою методів оптичної та електронної мікроскопії. На зразках що використовувалися для металографічних досліджень спочатку готували мікрошлифи, а потім їх щавили в реактиві, що має склад: 92мл HCl + 5мл H_2SO_4 + 3мл HNO_3 + 5г $CuSO_4$ + 50мл C_2H_5OH. Для вивчення і дослідження металографічної структури використовувався оптичний мікроскоп МИМ-8 при збільшені 200^x-500^x.

Електронно-мікроскопічне дослідження відбувалося на просвічувальному мікроскопі ЕМВ-100В із використанням методу вуглецевих реплік. Щавлення мікрошліфів проводилося тих же реактивах, але протягом більшого часу. Після щавлення зразки під напилювали шаром вуглецю, і лише після чього вуглецеві

репліки відділяли в спиртовому розчині азотної кислоти (10%). Електронно-мікроскопічне дослідження проводилось при збільшенні 30000 разів.

Використання методики математичного планування експерименту

Найсуттєвішим елементом наукового пошуку є вибір найефективнішого експериментального плану. Планування експерименту – це вибір числа дослідів та умов їх проведення, необхідних та достатніх для вирішення поставленого завдання з необхідною точністю. Існує велика кількість методів планування експерименту (повний факторний експеримент, дрібний факторний експеримент, симплекс-планування та ін.). Вибір методу здійснюється з урахуванням постановки завдання та визначенням об’єкта дослідження.

Опис цієї методики зручно починати з представлення про кібернетичну систему, що називається «чорна скриня». Схема «чорної скрині» зображена на рис. 2.1. Кожний фактор має дискрентне число рівней варіювання. Фіксований набір рівней факторів визначає один з можливих станів «чорної скрині» [11].

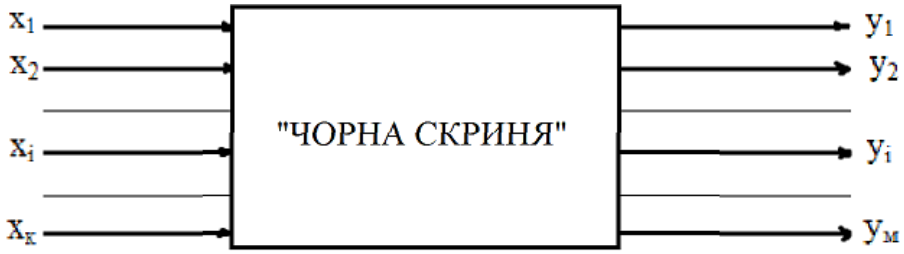


Рисунок 2.1 – Схема «чорної скрині»

$x_1, x_2 \ldots x_i \ldots x_к$ – способи впливу на повединку «чорної скрині» або фактори (наприклад параметри термічної обробки)

$y_1, y_2 \ldots y_i \ldots y_м$ – вихід «чорної скрині» або параметри оптимізації (твердість або інши властивості)

При вирішенні різноманітних задач використовують математичною моделю об’єктів випробування – управління, зв’язуючим параметр оптимізації з факторами:

$$y = \zeta(x_1, x_2 \ldots x_к); \quad (2.1)$$

В найпростіших випадках використовують линійну модель:

$$y = в_о + в_1 x_1 + в_2 x_2 + \ldots в_к x_к; \quad (2.2)$$

де $в_о$, $в_1$, $в_2$ … $в_к$ – коефиціенти регресії. Їх треба визначити.

В табл. 2.2 наведено дробовий план типу 2^{4-1}.

У порівнянні із $2^4 = 16$ дослідами повного факторного експерименту отриманий дробовий план складається із $2^{4-1} = 8$ дослідів. Модель об'єкта в цьому випадку має вигляд:

$$y = в_о + в_1 x_1 + в_2 x_2 + в_3 x_3 + в_4 x_4 + в_{12} x_1 x_2 + в_{13} x_1 x_3 + в_{23} x_2 x_3; \quad (2.3)$$

Коефіціенти рівняння регресії визначені по формулам:

$$в_о = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^{N} y_u; \quad (2.4)$$

$$в_i = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^{N} x_{iu} y_u; \quad (2.5)$$

$$в_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^{N} x_{iu} x_{ju} y_u; \quad (2.6)$$

де N – число дослідів;

x_{iu} – закодоване значення фактору;

y_u – параметр оптимізації.

Вигляд матриці планування для дробового плану типу 2^{4-1} наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Дробовий план типу 2^{4-1}.

№	x_1	x_2	x_3	x_4	$x_1 x_2 = x_3 x_4$	$x_1 x_3 = x_2 x_4$	$x_2 x_3 = x_1 x_4$	y
1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	y_1
2	-1	+1	+1	-1	-1	-1	+1	y_2
3	-1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	y_3
4	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	y_4
5	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	y_5
6	+1	+1	-1	-1	+1	-1	-1	y_6
7	+1	-1	-1	+1	-1	-1	+1	y_7
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	y_8

Рівень значущості при статистичній обробці результатів в наведених розрахунках зазвичай складає 95% [12].

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СПЛАВУ ХН35В6ТЮ

ВИБІР ГАРТУВАННЯ ТА ОДИНАРНОГО СТАРІННЯ СПЛАВУ

Гартування

Для реалізації ефекту дисперсійного твердіння сплав ХН35В6ТЮ (ЭК39), що зміцнюється γ'-фазою типу $Ni_3(Al,Ti)$, необхідно перед старінням піддати гартуванню або обробці на твердий розчин. Гартування таких сплавів зазвичай проводять від температур 1100 – 1200 °С [9].

На рис. 3.1 представлена мікроструктура сплаву ХН35В6ТЮ (ЭК39) після гартування по режиму: 1150 °С, тривалістю 2 години, охолодження в маслі.

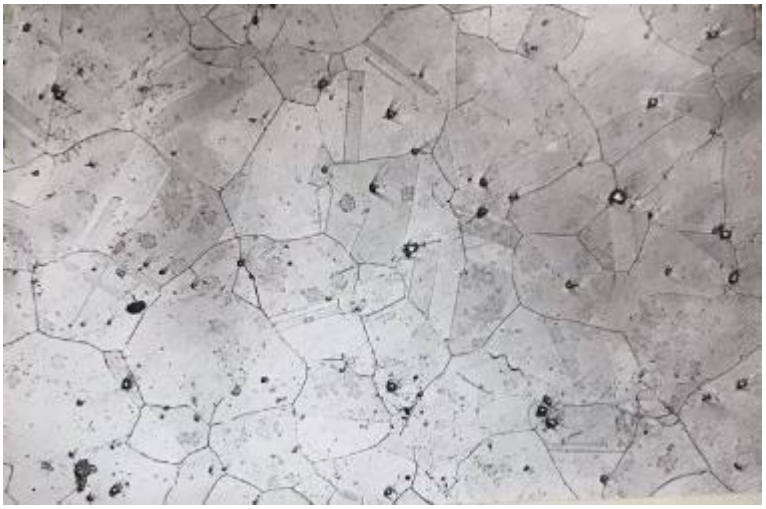


Рисунок 3.1 - Мікроструктура сплаву ХН35В6ТЮ (ЭК39) , х200.

В структурі видно чисті границі зерен і окремі частинки надлишкових фаз, що не розчинились при нагріванні під гартування. Форма частинок близька до рівноосної. Отримані дані дозволяють зробити висновок, що після гартування в сплаві понижуються кількість особливо великих (розміром 10 мкм і більше) і збільшується кількість більш дрібних часток. Середній розмір таких

надлишкових фаз зменшуються. Так, якщо в термічно необробленному сплаві середній діаметр часток складає 6,20 мкм, то після гартування від 1150 °С він складає 4,46 мкм, а від 1200 °С – до 3,66 мкм. Зменшення розміру надлишкових фаз слід вважати позитивним явищем, оскільки крупні частинки оказують негативний вплив на тріщиностійкість сплаву.

З метою визначення типу надлишкових фаз проведено їх дослідження методом рентгеноспектрального мікроаналізу. На рис. 3.2 представлено вид окремої частинки (металографічне зображення) і її зображення в характеристичних випромінюваннях різних легувальних елементів. Видно, що у порівнянні із матрицею частка збагачена вольфрамом і титаном, але збіднена хромом нікелем і залізом. Це дозволяє ідентифікувати фазу як карбид типу МС. Підвищений вміст вольфраму вказує на можливість утворення карбіду типу M_6C [13].

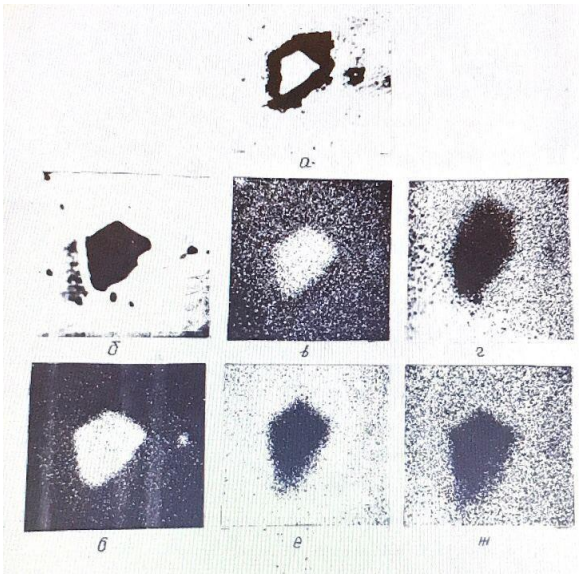


Рисунок 3.2 – Розподіл легувальних елементів в надлишковій фазі ХН35В6ТЮ
а – маталографічне зображення; б – зображення в поглинених електронах;
в – в випромінюванні WK_α; г – CrK_α; д – TiK_α; е – NiK_α; ж – FeK_α.

В роботі досліджено вплив температури гартування на механічні властивості сплаву ХН35В6ТЮ (ЭК39) у зістареному стані. Грунтуючись на результатах попередніх досліджень тривалість витримки при температурі

гартування складала 2 години, а охолодження проводилося в маслі. Старіння проводили при температурі 780 °С протягом 10 год.

Твердість сплаву після гартування від температур 1100 – 1250 °С (без наступного старіння) знаходилась в межах 71 – 76 HRB (тобто нижче мінімальних значень при вимірюванні за шкалою “С”). При температурі випробувань 20 °С границя міцності дещо знижується з ростом температури гартування вище 1150 °С, аналогічно поводить себе і твердість. Підвищення температури гартування до 1150 °С в невеликому ступені підвищує границю текучості (до 673 МПа). Видносне видовження і видножне звуження зменшується з ростом температури гартування, досягаючи мінімальних значень при 1200 °С. При температурах випробувань 750 °С зміна температури гартування мало впливає на досліджувані характеристики; спостерігається лише деяке підвищення границі міцності і ударної в’язкості в рази гартування від 1150 °С. Дослідження впливу тривалості витримки при температурі гартування показало, що збільшення її до 4 годин не призводить до відчутного позитивного впливу на механічні властивості сплаву.

Грунтуючись на отриманих результатах для проведення наступних досліджень за оптимальний було обрано наступний режим гартування: 1150 °С, витримка 2 години, охолодження в маслі.

3.1.2 Старіння

Старіння сплаву ХН35В6ТЮ (ЭК39) здійснюється для зміцнення його в результаті виділення дисперсних часток γ'-фази типу $Ni_3(Al,Ti)$. Температура найбільш інтенсивного виділення зміцнювальної γ'-фази в сплавах на залізо-нікелевій основі зазвичай знаходиться в інтервалі 700 – 800 °С. Тривалість старіння становить близько 10 годин.

Для вибору оптимальних режимів старіння механічні властивості сплаву ХН35В6ТЮ (ЭК39) визначали при кімнатній температурі і 750 °С. Останнє

значення було близьке до температури розігріву в процесі експлуатації матриць при горячому пресуванні мідних сплавів.

При кімнатній температурі випробувань найбільше значення твердості (27 HRC) і характеристик міцності ($\sigma_{0.2}$ = 610 – 620 МПа, $\sigma_в$ = 1050 – 1055 МПа) досягаються після старіння при 750 – 780 °С. У випадку підвищеної температури випробувань найбільш високи м значенням границі плинності (640 – 650 МПа) і границі міцності (770 – 785 МПа) відповідає старіння при 780 – 800 °С. Таким чином, отримані результати дозволяють зробити висновок, що найбільше зміцнення сплаву ХН35В6ТЮ (ЭК39) забезпечується в результаті старіння при 780 °С. На рис. 3.3 представлено залежність механічних властивостей сплаву від тривалості витримки при цій температурі.

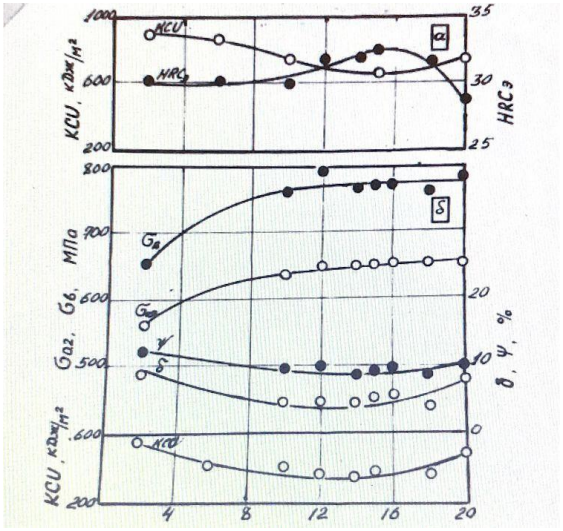


Рисунок 3.3 – Залежність механічних властивостей сплаву ХН35В6ТЮ (ЭК39) від часу старіння

Гартування 1150 °С, 2 год., масло + старіння 780 °С

а – температура випробувань 20 °С, б – 750 °С.

Видно, що найбільша ступінь дисперсійного твердіння досягається після тривалості старіння протягом 15 годин. Однак ударна в’язкість і характеристики пластичності при цьому мінімальні. У порівнянні з цим більш високі показники характеристик пластичності практично при тій же міцності сплав має у випадку

старіння протягом 10 годин. Отже, для найбільш оптимального сполучення характеристик міцності і пластичності сплав ХН35В6ТЮ (ЭК39) необхідно піддавати термійній обробці по режиму: 1150 °С, 2 год., масло + 780 °С, 10 год.

3.2.3 Температурна залежність механічних властивостей сплаву

Результати визначення залежності механічних властивостей сплаву від температури випробувань після обраною зміцнювальної термічної обробки наведені на рис. 3.4.

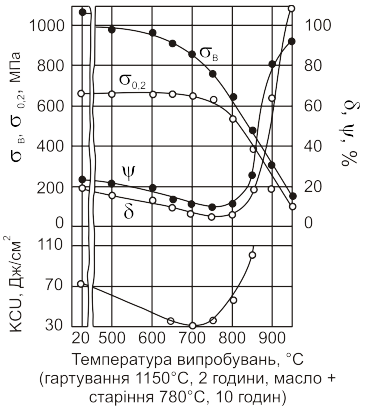


Рисунок 3.4 Залежність механічних властивостей сплаву ХН35В6ТЮ від температури випробувань

Важливо, що при температурах вище 700 °С сплав за міцністю суттєво переважає навіть таку серійну високотеплостійку сталь, як 5Х3В3МФС (520 МПа проти 165 МПа при температурі випробувань 800 °С) [14]. Це і обумовлює ефективність використання сплаву для високих температурах експлуатації замість серійних штампових сталей мартенситного класу. Водночас фактором, що обмежує працездатність сплаву є значне зниження (провал) ударної в'язкості при зростанні температури випробувань від кімнатної до 700 °С (від 71 до 38 Дж/см^2). Пояснення такої температурної залежності ударної в'язкості сплавів, що зміцнюються γ′-фазою типу $Ni_3(Ti,Al)$ наведено в роботі [14]. Низькі значення ударної в'язкості в області найбільш відповідальних високих температур експлуатації робить сплав схильним до утворення тріщин, що потребує підвищення цієї характеристики. Важливим також є підвищення твердості сплаву

ХН35ВТЮ, оскільки за цією характеристикою він поступається серійним штамповим сталям мартенситного класу.

А, згідно досить численної кількості досліджень [15–17], підвищення пластичності та міцності для сплавів із дисперсійним твердінням можна досягти при використанні певного режиму сходинкового старіння замість традиційного одинарного.

ВПЛИВ СХОДИНКОВГО СТАРІННЯ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

Вибір значень параметрів сходинкового старіння для математичного планування експерименту

При проведенні досліджень обрана схема двосходинкового старіння з послідовністю: спочатку низькотемпературне, потім високотемпературне (НТ + ВТ). Саме сходинкове старіння проводили після попереднього гартування за режимом 1150 °С, витримка 2 години, охолодження в маслі. Для визначення найбільш ефективних режимів сходинкового старіння застосовували методику математичного планування експерименту з використанням дрібної репліки ортогонального плану другого порядку типу 2^{4-1} з генеруючим співвідношенням $X_4 = X_1X_2X_3$.

Перша (низькотемпературна) сходинка обрана для реалізації початку спінодального розпаду пересиченого твердого розчину на стадії утворення зон Гін'є-Престона, а друга (високотемпературна) сходинка відповідала формуванні частинок стабільної γ′-фази типу $Ni_3(Ti,Al)$.

Чотирма незалежними змінними в матриці планування обрані температури та тривалості старіння на першій та другій сходинках старіння. Обрані значення температур та тривалостей старіння на базовому (нульовому) рівні та відповідні інтервали їх варіювання наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Умови побудови факторного плану 2^{4-1}

Найменування	Перша сходинка старіння		Друга сходинка старіння	
	Температура витримки, °С	Час витримки, години	Температура витримки, °С	Час витримки, години
Кодове позначення	X_1	X_2	X_3	X_4
Середній рівень	675	15	775	4
Інтервал варіювання	25	5	25	2
Верхній рівень	700	20	800	6
Нижній рівень	650	10	750	2

Значення температур першої сходинки старіння було обрано таким чином, щоб виділилися карбідні фази, а температури другої – для виділення γ' - фаза типу $Ni_3(Ti,Al)$. Час старіння для сходинок був варіювався в межах, вказаних в табл. 3.1.

Обробка та аналіз результатів матриці планування

Функціями відгуку при отриманні рівнянь регресії слугували твердість при кімнатній температурі та ударна в’язкість при температурі 750 °С. Дані експерименту наведені в табл. 3.2. Досліди з номерами 9,10,11 відповідали нульовому рівню матриці планування і використовувались для визначення значущості коефіцієнтів регресії (довірча вірогідність при розрахунках складала 95%).

Значення твердості та ударної в’язкості при температурі випробування 750 °С для кожного досліду матриці планування 2^{4-1} наведені в табл. 3.2. Досліди 1 – 8 відповідають безпосередньо матриці планування, а досліди 9 – 11 використовували для розрахунку дисперсії відтворюваності.

Таблиця 3.2 - Режими сходинкового старіння та значення характеристик матриці планування

№ Досліду	Кодові позначення				Перша сходинка		Друга сходинка		Характеристики	
					t, °C	τ, години	t, °C	τ, години	HRC	KCU, Дж/см^2
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_1	x_2	x_3	x_4		
1	-	-	-	-	650	5	750	2	25	127
2	-	-	+	+	650	10	800	5	29	38
3	-	+	-	+	650	20	750	6	29	94
4	+	-	-	+	700	10	750	6	31	80
5	+	+	-	-	700	20	750	2	29	120
6	-	+	+	-	650	20	800	6	28	96
7	+	-	+	-	700	10	800	2	26	103
8	+	+	+	+	700	20	800	6	31	42
9	0	0	0	0	675	15	775	4	29	44
10	0	0	0	0	675	15	775	4	31	44
11	0	0	0	0	675	15	775	4	31	45

Згідно з отриманими результатами дослідів, значення твердості сплаву, залежно від режиму старіння, можуть змінюватись від 25 до 31 одиниць, в той час як ударна в’язкість в межах 38 – 100 Дж/см^2.

За результатами розрахунків отримані рівняння регресії, які після виключеня незначущих коефіцієнтів мають наступний вигляд:

$$HRC = 30 + 0,6X_1 + 0,7X_2 + 1,4X_4 – 0,8X_2X_4 + 0,3X_1X_4; \quad (3.1)$$

$$KCU, Дж/см^2 = 90,8 – 17,7X_3 – 23,9X_4. \quad (3.2)$$

З наведених рівнянь видно, що зміна температури старіння на другій сходинці старіння (X_3) не впливає на твердість сплаву в межах її варіювання (750°С–800 °С). Незначущим є також вплив на ударну в'язкість зміни температури (650°С–700 °С) та часу витримки (2–6 годин) на першій сходинці старіння (X_1 та X_2 відповідно).

Нелінійність рівняння для HRC ускладнює аналіз впливу сходинкового старіння на цю характеристику, а для ударної в'язкості видно її зменшення при зростанні температури та тривалості витримки на високотемпературній (другій) сходинці.

З аналізу даних табл. 3.2 видно, що ударна в'язкість найбільш суттєво (більш ніж в 3 рази порівняно з одинарним старінням) зросла для дослідів 1 та 5. Однак перевагою досліду 5 є зростання ударної в'язкості до 120 Дж/см^2 без зменшення твердості. Найбільшому зростанні твердості (на 2 одиниці порівняно з одинарним старінням) при одночасному суттєвому збільшенні ударної в'язкості відповідав дослід 4. Для дослідів 4 та 5, як для найбільш ефективних, додатково визначені механічні властивості при випробуванні на розтяг при температурі 750 °С. Отримані дані наведені в табл.3.3 в порівнянні із значеннями після вихідного одинарного старіння. Видно, що при зростанні ударної в'язкості сплаву після сходинкового старіння за дослідами 4 та 5 не відбувається суттєвого зменшення високотемпературної міцності.

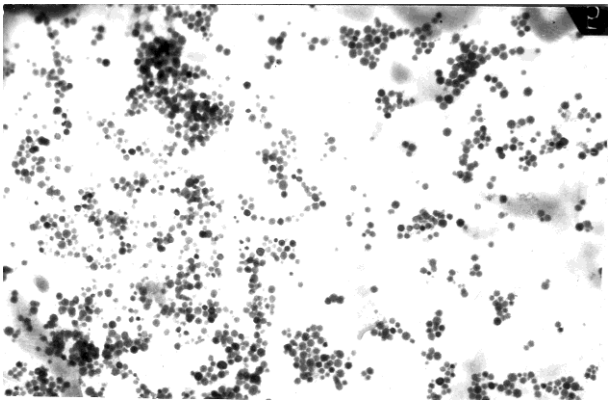
Таблиця 3.3 Зміна механічних властивостей сплаву ХН35В6ТЮ після сходинкового старіння

Назва, або номер досліду	Режим старіння	HRC	Температура випробувань 750 °С				
			$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B, МПа	δ,%	ψ,%	KCU, Дж/см^2
Вихідний стан	780 °С, 10 годин (одинарний)	29	647	752	6	10	38
№4	700 °С, 10 годин + 750 °С, 6 годин	31	620	775	5	9	81
№5	700 °С, 20 годин + 750 °С, 2 години	29	597	729	5,3	9,6	120
Додатковий	700 °С, 5 годин + 775 °С, 2 години	33	642	777	4,9	7,3	55

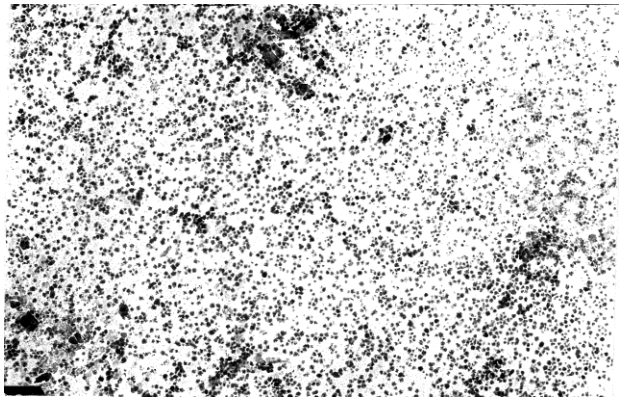
Визначення найбільш ефективних режимів сходинкового старіння

Надалі дослід 4 обрано, як базовий, при пошуку режиму сходинкового старіння для подальшого збільшення твердості сплаву при збереженні ударної в'язкості вище, ніж після одинарного старіння. Для цього виконали розрахунки твердості за рівнянням регресії (3.1) при перебиранні значень параметрів X_1, X_2 в межах $-2<X_i<2$, тобто з виходом за межі їх варіювання (враховуючи, що ці параметри не впливають на ударну в'язкість). Проведення реальних експериментів в обраній області дозволило визначити, що підвищення твердості до 33 HRC забезпечує сходинкове старіння за режимом, який табл. 3.3 вказано як «Додатковий» і відповідає наступному уявному експерименту: $X_1 = +1,5$; $X_2 = -1,5$; $X_3 = -2$; $X_4 = +2$. Реалізація вказаного режиму старіння забезпечила сплаву твердість 33 HRC і наступні механічні властивості при температурі 750 °С: границя текучості - 642 МПа, границя міцності – 777 МПа, відносне подовження – 4,9 %, відносне звуження – 7,3%, ударна в`язкість - 55 Дж/см^2. У порівнянні із одинарним старінням досягнуто зростання твердості і ударної в'язкості без суттєвого зменшення характеристик пластичності.

Електронно-мікроскопічне дослідження мікроструктури показало, що більш високим значенням ударної в’язкості після сходинкового старіння за режимами 3 та 4 відповідає більш високодисперсний стан частинок зміцнювальної γ′-фази типу $Ni_3(Ti,Al)$. Це добре видно з рис. 3.5: якщо після одинарного старіння середній розмір частинок складав близько 20 нм, то після старіння за режимом 5 він дорівнював 12 нм.



а



б

Рисунок 3.5 - Зміцнювальна фаза в сплаві ХН35В6ТЮ після одинарного (а) та сходинкового (б) старіння за режимом 700 °С, 20 годин + 750 °С, 2 години. ×30000

У випадку сходинкового старіння за режимом, що забезпечує найбільшу твердість («Додатковий» в табл. 3.3) середній розмір частинок γ′-фази був практично таким же, як і після одинарного старіння, однак, як видно з рис. 3.6,

розкид частинок за розміром був в меншим. Вказані особливості виділення частинок зміцнювальної γ′-фази типу $Ni_3(Ti,Al)$ у випадку сходинкового старіння і обумовлюють більш високі значення механічних властивостей дослідженого сплаву.

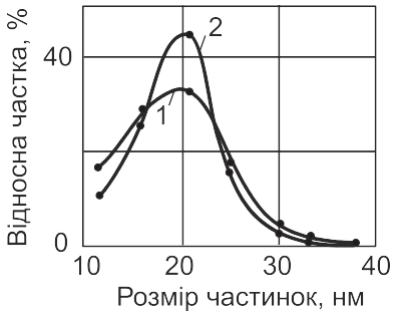


Рисунок 3.6 Розподіл за розміром частинок γ′-фази типу $Ni_3(Ti,Al)$ після одинарного (крива 1) та сходинкового (крива 2) старіння за режимом 725 °С, 5 годин + 775 °С, 6 годин.

Рекоментації по використанню сходинкового старіння сплаву ХН35В6ТЮ.

Одже виходячи із результатів виконаних досліджень, для отримання найбільш високих значень ударної в’язкості, можна рекомендувати режим термічної обробки зі сходинковим старінням: гартування 1150 °С, 2 години, охолодження в маслі, та наступне двосходинкове старіння за режимом 700 °С, 20 годин + 750 °С, 2 години. Застосування такої термічної обробки у порівнянні з одинарним забезпечує сплаву ХН35В6ТЮ ударну в’язкість на рівні 120 Дж/см^2 (в три рази більше порівняно з одинарним старінням) без зменшення твердості, або суттєве підвищення високотемпературної ударної в’язкості без зниження твердості та міцності. Якщо необхідно отримати якомога більшу твердість сплаву ХН35В6ТЮ то потрібно піддавати його сходинковому старінню за режимом 700 °С, 5 годин + 775 °С, 2 години. При цьому ударна в’язкість зберігається на більш високому рівні порівняно з одинарним старінням. Досягнуте зростання комплексу механічних властивостей обумовлено більш

високодисперсним станом та меншим розкидом за розміром частинок зміцнювальної γ′-фази типу $Ni_3(Ti,Al)$ порівняно з одинарним старінням. Це забезпечує сплаву ХН35ВТЮ кращу працездатність, як матеріалу інструментів для гарячого пресування металів.

Технологія термічної обробки сплаву ХН35В6ТЮ із сходинковим старінням

Штамповий інструмент для гарячого пресування працює в умовах одночасного циклічного впливу високих температур та тиску, при динамічному характері навантаження. Величина цих параметрів змінюється в широких межах в залежності від застосованого пресового обладнання, операції гарячого деформування і властивостей металу, що деформують. Штампи гарячого деформування працюють в досить жорстких умовах, для яких характерні: високі діючі напруження, рівень яких наближується до границі плинності штампових сталей; високі температури нагріву; циклічний вплив напружень від знакозмінних зусиль при деформуванні; термічні напруження, що визначаються умовами нагрівання і охолодження штампів; хімічна взаємодія, яка особливо проявляється в процесі пресування.

На рис. 3.7 зображено ескіз матриці гарячого пресування із сплаву ХН35В6ТЮ.

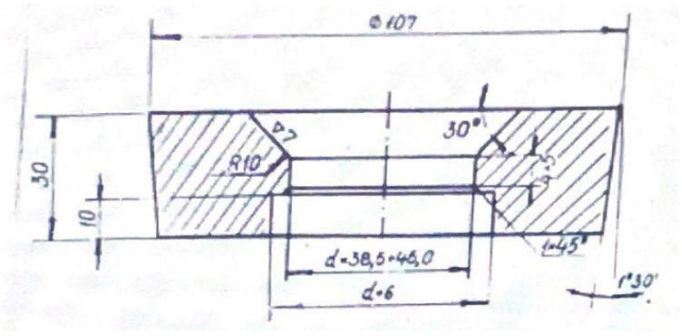


Рисунок 3.7 - Ескіз матриці гарячого пресування із сплаву ХН35В6ТЮ.

Як було вказано в попередньому підрозділі, найбільш ефективним обрано режим термічної обробки що складається з наступних операій:

1. Гартування 1150 °С, витримка 2 год., охолодження в маслі;

2. Перше старіння 700 °С, витримка 5 год., охолодження на повітрі;

3. Друге старіння 775 °С, витримка 2 год., охолодження на повітрі.

Оберемо обладнання для здійснення термічної обробки.

1) Гартування. Для нагріву до 1150 °С обіраємо піч СНО-3.6.3/13, для охолодження – гартівний бак.

2) Старіння. Для нагріву до 700 °С і 775 °С обираємо піч СНО-3.6.3/9. Охолодження відбувається на повітрі, через що немає необхідності в використанні спеціального обладнання для охолодження.

Розміри робочого простору печі СНВ-5.7.3/13 і СНВ-5.7.3/9 становлять: ширина *(B)* – 500 мм, довжина *(L)* – 700 мм, висота *(H)* – 300 мм.

Максимальні температури нагріву обраних печей складають 1300 °С і 900 °С відповідно.

При термічній обробці використовуються 4 піддони матриці будуть розташовані горизонтально, розрахуємо кількість виробів, які будуть розташовані на них:

$$n_1 = \frac{500}{107 + \frac{107}{2}} = 3 \text{ шт}; \qquad n_2 = \frac{700}{107 + \frac{107}{2}} = 4 \text{ шт}.$$

З цього слідує:

$$n = 3 \cdot 4 = 12 \text{ шт};$$

З цього слідує що на одному піддоні буде розташовуватись 12 виробів. Тобто на 4х піддонах буде піддаватись термічній обробці 48 виробів.

Розрахуємо приблизну масу одного виробу:

$$m_в = \rho \cdot V;$$

де ρ – густина сплаву (~8,040 г/см³); V – приблизний об’єм виробу.

$$V = 23{,}488 \text{мм}^2$$

$$m_в = 8{,}040 \cdot 23{,}488 = 0{,}188 \text{ кг}.$$

Розрахуємо масу однієї садки:

$$m_c=N \cdot m_в;$$

де N – кількість виробів в садці; $m_в$ – маса одного виробу.

Отже:

$$m_c= 48 \cdot 0,173 = 9,065 \text{ кг.}$$

Схема садки наведена на рис.3.8.

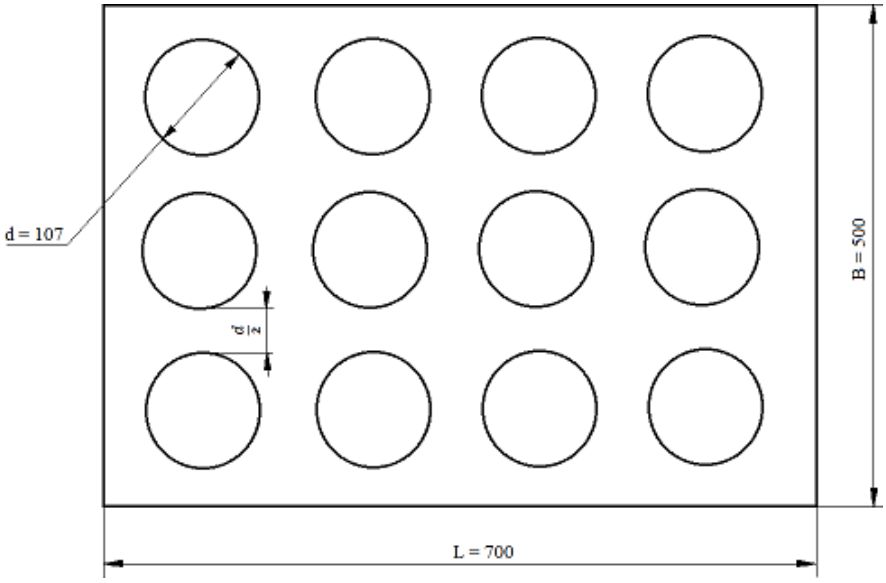


Рисунок 3.8 – Схема садки

Гартування

Розрахуємо час нагріванні при гартуванні:

$$\tau_н=S \cdot k \cdot l \cdot L_л;$$

де S – характеристичний розмір виробу (радіус кулі, циліндру, найменше ребро призми і т.ін.), мм; в даному випадку це – 30мм;

k – коефіцієнт форми ; згідно табл. 4.4 [18] k=2;

f – коефіцієнт розташування виробів в нагрівальному пристрої, що впливає на час нагрівання, хв.; згідно табл. 4.5 [18] f =1,4;

$L_л$ – коефіцієнт легування сплаву, хв/мм.,

У випадку проведення термічної обробки сплавів на основі нікелю слід враховувати теплофізичні параметри цих матеріалів, застосовуючи при розрахунках часу нагрівання поправочні коефіцієнти. Відоме (із табл. 4.6) [18]

значення коефіцієнта легування $L_л$ для сталей пропонується замінити модифікованим коефіцієнтом легування, який залежить від фізичних характеристик сплаву (теплопровідності і теплоємності).

Для обраного сплаву значення його коефіцієнту легування $L_л$ можна розрахувати із співвідношення:

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

Де с – теплоємність, Дж/(кг·К)

λ - теплопровідність, Вт/(м·К).

$$L_л = 0.18 \frac{923 \cdot 29.1}{633 \cdot 30.5} = 0.29 \text{ хв/мм.},$$

З розрахунків можна зробити висновок, що на прогрівання 1 мм деталі необхідно 0.29 хв. В реальних умовах слід враховувати необхідність збільшення часу нагрівання для сплавів, що має передбачати проходження процесів розчинення надлишкових фаз та дифузію атомів елементів.

Тривалість нагрівання становить:

$$\tau_н = 30 \cdot 2 \cdot 1{,}4 \cdot 0{,}25 = 21 \text{ хв.}$$

Перше старіння

Розрахуємо час нагріванні при першій сходінці старіння:

$$\tau_н = S \cdot k \cdot l \cdot L_л;$$

де S – характеристичний розмір виробу (радіус кулі, циліндру, найменше ребро призми і т.ін.), мм; в даному випадку це – 30мм;

k – коефіцієнт форми ; згідно табл. 4.4 [18] k=2;

f – коефіцієнт розташування виробів в нагрівальному пристрої, що впливає на час нагрівання, хв.; згідно табл. 4.5 [18] f =1,4;

$L_л$ – коефіцієнт легування сплаву , хв/мм.;

$$L_л = 1.5 \frac{876 \cdot 25.2}{594 \cdot 26.5} = 2{,}1 \text{ хв/мм.},$$

Тривалість нагрівання становить:

$$\tau_н = 30 \cdot 1 \cdot 1{,}4 \cdot 1{,}6 = 135 \text{ хв};$$

На рис. 3.9 зображена схема термічної обробки.

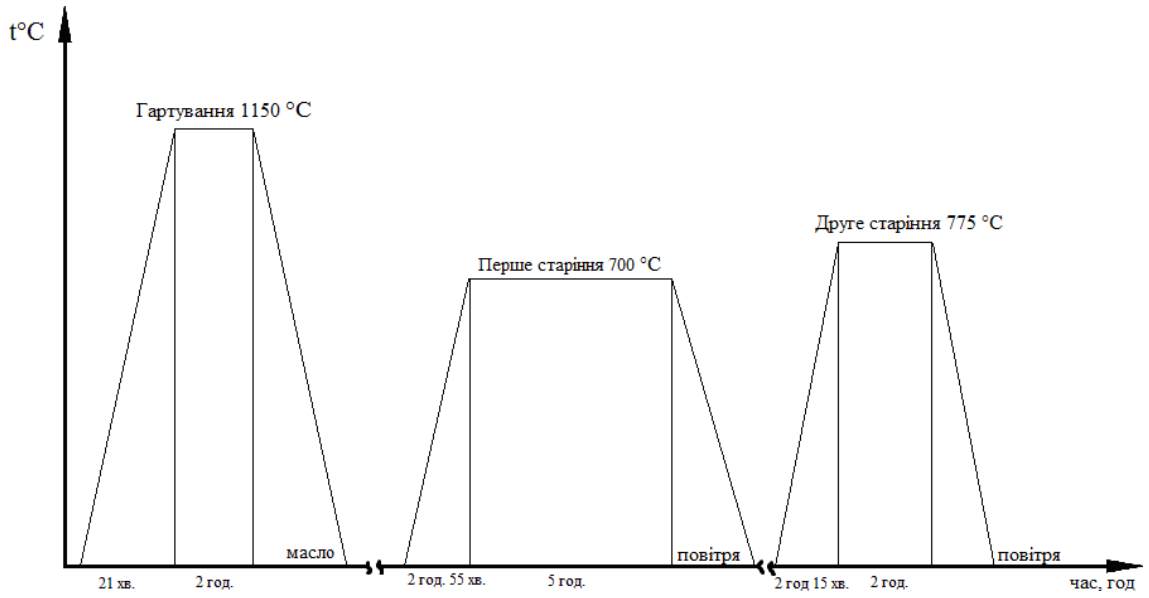
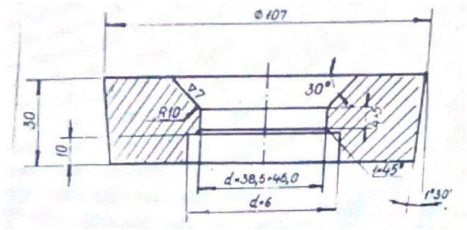


Рисунок 3.9 – Схема термічної обробки

Таблиця 3.4 – Карта технологічного процесу термічної обробки матриці гарячого пресування із сплаву ХН35В6ТЮ.

Ескіз виробу	Матеріал	Технічні вимоги	
		Властивості	Структура
	ХН35В6ТЮ (ЭК39)	$t_{експл} \geq 700°C$ $\sigma_в \geq 700МПа$; $\sigma_{0.2} \geq 600МПа$; $\delta \geq 4\%$; $KCU \geq 50Дж/см^2$.	γ'-фази типу $Ni_3(Ti,Al)$

Продовження таблиці 3.4

№ операції	Назва операції	Обладнання	Режим нагрівання: температура, °С час, хв., середовище та; його витрати, тиск	Режим охолодження: середовище, його температура, тиск,	Назва пристосування, кількість, шт..	Умови обробки та контролю
1.	Вхідний контроль	Мікроскоп, лінійка, штангенциркуль твердомір.	-	-	-	Хімічний склад, мікроструктура, стан поверхні, геометрія, твердість
2.	Гартування					
2.1	Нагрівання	СНО-5.7.3/13	$t_н$=1150±10 ºС; $\tau_н$=21 хв	-	Чотири піддони 48 шт. M_C= 9,065 кг	Контроль температури і часу нагріву, витрати середовища та його склад
2.2	Витримка	СНО-5.7.3/13	$t_н$=1150±10 ºС; $\tau_в$= 120 хв.	-	Чотири піддони 48 шт. M_C= 9,065 кг	Контроль температури і часу витримки, витрати середовища та його склад
2.3	Охолодження	Стіл	-	Повітря	Чотири піддони 48 шт. M_C= 9,065 кг	Час охолодження, температура середовища
3.	Контроль операційний	мікроскоп	-	-	-	Мікроструктура.

Продовження таблиці 3.4

4.	Перша сходинка старіння.					
4.1	Нагрівання	СНО-5.7.3/9	$t_н$=700±10 ºС; $\tau_н$=175хв.	-	Чотири піддони 48 шт. M_C= 9,065 кг	Контроль температури і часу нагріву, витрати середовища та його склад
4.2	Витримка	СНВ-5.7.3/9	$t_н$=700±10 ºС; $\tau_в$= 120 хв.	-	Чотири піддони 48 шт. M_C= 9,065 кг	Контроль температури і часу витримки, витрати середовища та його склад
4.3	Охолодження	Стіл	-	Повітря	Чотири піддони 48 шт. M_C= 9,065 кг.	Час охолодження, температура середовища
5.	Друга сходинка старіння.					
5.1	Нагрівання	СНО-5.7.3/9	$t_н$=775±10 ºС; $\tau_н$=135 хв.	-	Чотири піддони 48 шт. M_C= 9,065 кг	Контроль температури і часу нагріву, витрати середовища та його склад
5.2	Витримка	СНВ-5.7.3/9	$t_н$=775±10 ºС; $\tau_в$= 145 хв.	-	Чотири піддони 48 шт. M_C= 9,065 кг	Контроль температури і часу витримки, витрати середовища та його склад

Продовження таблиці 3.4

5.3	Охолодження	Стіл	-	Повітря	Чотири піддони 48 шт. M_C= 9,065 кг.	Час охолодження, температура середовища
6	Вихідний контроль	Мікроскоп, лінійка, штангенциркуль твердомір	-	-	-	Контроль мікростр. твердості та ін.мех. власт. на зразках-свідках.

ВИСНОВКИ

1. За результатами уточнень впливу гартування та одинарного старіння на механічні властивості сплаву ХН35В6ТЮ встановленою, що для найбільш оптимального сполучення характеристик міцності і пластичності сплав ХН35В6ТЮ необхідно піддавати термічній обробці за режимом: 1150 °С, 2 години, масло + 780 °С, 10 годин.

2. Для дослідження сходинкового старіння і його впливу на твердість та ударну в'язкість сплаву ХН35В6ТЮ було обрано інтервали варіювання температури двосходинкового старіння для матриці планування 2^{4-1}.

3. Було отримано рівняння регресії яки описують вплив сходинкового старіння твердість та високотемпературну ударну в'язкість сплаву ХН35В6ТЮ.

4. Встановлено, що сходинкове старіння за режимом 700 °С, 5 годин + 775 °С, 2 години забезпечує порівняно з одинарним старінням підвищення ударної в'язкості з 38 Дж/см^2 до 120 без зменшення твердості.

5. За результатами додаткових експериментів досягнуто підвищення твердості сплаву ХН35В6ТЮ до 33 HRC без зменшення характеристик пластичності при сходинковому старінні за режимом: 700 °С, 10 годин + 750 °С, 6 годин.

6. Показано, що ефективність сходинкового старіння забезпечується внаслідок збільшення дисперсності та рівномірного розподілу в структурі частинок зміцнювальної γ′-фази типу $Ni_3(Ti,Al)$.

7. При використання сплаву ХН35В6ТЮ замість серійних штампових сталей забезпечується економічний ефект 1 406 295 грн для програми випуску пресових матриць 5500 штук.

9. Розглянуто основні заходи із охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Келли А., Николсон Р. Дисперсное твердение. – М.: Металлургия, 1966. – 300 с.

2. Позняк Л. А., Скрынченко Ю.М., Тишаев С.И. Штамповые стали. М.: Металлургия, 1980. 244 с.

3. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М. : Металлургия, 1983. 528 с.

4. Новиков, И. И. Теория термической обработки металлов: Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1986. 267 с.

5. Ланская К. А. Жаропрочные стали. М.: Металлургия, 1969. 264 с.

6. Ч.Симс, В.Хагель. Жаропрочные сплави . – М.:Металлургия, 1976.- 111 с.

7. Романова Р. Р., Уксусников А.Н., Устюгов Ю.М. Структура и механические свойства сплавов, подвергнутых ступенчатому старению. ФММ, 1994, том 78, вып. 5. 5-18 с.

8. Химушин Ф. Ф. Нержавеющие стали. М. : Металлургия, 1967. 798 с.

9. Приданцев М. В. Жаропрочные стареющие сплавы, М. :Металлургия, 1973. 183 с.

10. Грабовский В. Я., Левитин В.В. Специальные стали и сплавы. Исследование дисперсионного твердения аустенитных сталей. М. : Металлургия. 1975, № 4, 112-115 с.

11. Адлер Ю. П., Маркова Е.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальних русловий. М. : Наука, 1976. 280 с.

12. Спиридонов А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М. Машиостроение. 1981. 184 с.

13. Академия наук СССР. Физика металлов и металловедение. Влияние γ'-фази на темпе ратурную зависимость работы разрушения

жаропрочного сплава ХН35В6ТЮ: УДК 669.14.018.44 : 539.537.[Утв. и введ. 02.01.79.]. – отдельный оттиск том 49, 1980. – 880 с.

14. О влиянии γ′-фазы на температурную зависимость работы разрушения жаропрочного сплава ХН35ВТЮ. – АН СССР. Физика металлов и металловедение. 1980, том 49, вып. 4, С. 880–883.

15. Романова Р.Р., Уксусников А.Н., Устюгов Ю.М. Структура и механические свойства сплавов, подвергнутых ступенчатому старению. – ФММ, 1994, том 78, вып.5, С. 5–18.

16. Перцовский Н.З., Коробов О.С., Рыбалов Л.Г. и др. Исследование кинетики старения жаропрочного сплава ЭИ698. «Технология легких сплавов», научно-технический бюлетень ВИЛСа, № 9, 1975, С. 52–56.

17. Кондратьев В.В., Устюгов Ю.М. О кинетике ступенчатого старения сплавов. Нестационарная стадия коалесценции. – ФММ, 1985, том 60, вып. 1, С. 12–21.

18. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни “Термічна обробка” для студентів спеціальності 132 “Матеріалознавство” усіх форм навчання /Укл.: О.В. Климов, І.М. Лазечний. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. - 34 с.

19. Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників [На заміну наказу МНС України від 26.12.2011 №1350; чинний від 2012-03-16] : НПАОП 0.00-7.11-12. На заміну наказу МНС України від 26.12.2011 №1350; чинний від 2012-03-06. К.: МНС України, 2012. (Нормативно-правовий акт охорони праці).

20. Гігієнічна класифікація за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. [На заміну ГН 3.3.5-8.6.6.1-2002; чинний від 2014-05-30]. К.: МОЗ України, 2014. 37с.

21. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів [Текст] : НПАОП 40.1-1.21-98. На зміну ДНАОП 0.00.1.21-84; чинників від 1998-01-09. К. : Мінпраці України, 1998. 89 с.

22. СТП 15-96 Пояснювальні записки до курсових та дипломних проектів (робіт). Запоріжжя: ЗДТУ, 1996. 36 с.

23. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної магістерської дипломної роботи для студентів спеціальності 132 "Матеріалознавство" усіх форм навчання. Укл.: І.М. Лазечний, В.Я. Грабовський, Ю.І Кононенко, О.В. Лисиця. Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. 38 с.

ДОДАТОК А
ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

А.1 Тенденція розвитку світового ринку технологій

З розвитком промисловості зростає і попит на вогнетривкі вироби. Потреби на пресформи і, зрозуміло, на сталі для їх виробництва весь час зростає. Тому необхідна дешева і найменш металомістка продукція високопродуктивного масового виробництва. З іншого боку, потрібно забезпечити надійність роботи в умовах тривалої експлуатації.

Одним із найважливіших чинників модернізації промисловості в наш час є удосконалення пресових інструментів. Однією із проблем є переоснащення виробничих потужностей сучасним обладнанням і верстатами, які мають відповідати вимогам сучасності, також необхідне вдосконалення у розробці наукових впроваджень у даній галузі. Через зростання ціни на сировину, підприємства мають постійно збільшувати продуктивность свого технічного оснащення, тим самим зменшуючи витрати.

Жароміцні сплави, що використовуються в матрицях гарячого пресування є одними із найпровідніших, так як поєднують у собі усі необхідні властивості, у порівнянні із високою стійкістю ударним навантаженням, що робить їх використання економічно вигідним.

У зв'язку з технічною складністю отримання нових сплавів для їх розробки, враховуючи необхідні механічні властивості, потрібно проводити численні експерименти, які тягнуть за собою втрати дорогоцінних матеріалів, грошей і часу. Для вирішення таких проблем доцільно встановити залежність впливу легувальних елементів на властивості і структуру жароміц них сплавів за експериментальними та статистичними даними.

До лідерів з виробнитства делалей методом гарячого пресування належать Китай, Японія, Німеччина, Росія, Італія, Франція, Україна. Серед країн, що розвиваються - Індія, Бразилія, Мексика, Південна Корея та ін.

В табл. А.1 наведено цілісне уявлення про звіст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця А.1 – Опис ідеї дипломного проекту.

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів
Головною ідеєю даного проекту було удосконалення пресувального інструменту шляхом проведення сходинкового старіння замість одинарного, яке забезпечить покращення ряду механічних сластивостей і збільшить довговічність, що в свою чергу є одним із варіантів модернізації обладнання та економії ресурсів на підприємстві.	Виготовлення деталей методом гарячого пресування	Збільшення довговічності
		Покращення механічних властивостей
		Економія ресурсів в наслідок більшого експлуатаційного часу.

В табл. А.2 вказані потенційні групи клієнтів, характеристики та вимоги до товару кожної групи.

Таблиця А.2 – Попередня характеристика потенційного ринку.

	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Головні конкуренти	Знайти конкурентів гарячому штампуванню досить важко, так як воно все ще являється найекономічнішим і швидким, але альтернативою йому буде литт,кування, виготовлення фрезеруванням, тощо.
2	Динаміка ринку	На даний момент динаміка зростає, це підтверджується об’ємом продукції виготовленої методом гарячого пресування.
3	Наявність обмежень для входу	Одним із найголовніших є фінансове обмеження, тобто необхідність певних грошових внесень на покупку обладнання і матеріальне обмеження -необхідність в якісній сировині. Також слід зауважити, що для входу в ринок необхідно мати спеціалістів, що забезпечать якісну роботу.
4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Обладнання має пройти перевірку на працездатність і відповідність техніці безпеки та економічну вигоду, а вироби отримані на цьому обладнанні мають відповідати висунутим вимогам.

Карта стейкхолдерів – це спосіб наочного відображення різних відносин зі стейкхолдерами. У карту стейкхолдерів важливо включати всі відносини, за допомогою яких компанія впливає на людей та інші компанії або люди впливають на діяльність самого підприємства.

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

Рисунок А.1 – Карта стейкхолдерів

А.2 Техніко-економічні розрахунки

Метою даного розділу є обґрунтування доцільності використання технології операції сходинкового старіння для деталей штампувального інструменту.

Таблиця А.2.1-Техніко-економічні показники виробів.

Найменування виробу	Базовий виріб	Новий виріб
1.Матриця штампувального інструменту	ХН35В6ТЮ	ХН35В6ТЮ
2. Технологія зміцнення	Гартування	Гартування, Сходинкове старіння.
3. Програма випуску, шт	5500	5500

Вартість сировини і основних матеріалів розраховується на основі технічно обґрунтованих норм використання на виробництво одиниці виробу, цін відповідних видів матеріальних ресурсів. При цьому враховуються транспортнозаготівельні витрати. Сума витрат на сировину та матеріали зменшується на величину зворотних відходів, які створюються в процесі виробництва. Вартість сировини та основних матеріалів наведена в таблиці 4.2.

Таблиця А.2.2 – Вартість основних матеріалів при термічній обробці

Найменування сировини та основних матеріалів	Норма використання	Ціна, грн	Вартість, грн
ХН35В6ТЮ	5кг	160 грн/кг	800
Масло індустріальне	50 л	50 грн/л	2500
Разом	-	-	3300

Вартість купівельних комплектуючих виробів розраховується на основі норм використання й цін, з урахуванням транспортно – заготівельних витрат.

Основна заробітна плата основних виробничих робітників на одиницю виробу розраховується на основі трудомісткості виготовлення та часових тарифних ставок. Розрахунок основної заробітної плати на одиницю продукції наведений в таблиці 4.3.

Таблиця А.2.3 – Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка)

Найменування операції	Норма часу, годин	Розряд робіт	Часова тарифна ставка, грн.	Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка), грн.
Гартування	2	V	60	120
Старіння	50	V	60	3000
Усього				3120

Додаткова заробітна плата виробничих робітників виплачується за кількість та якість виконаної роботи. Вона вміщує надбавки і доплати, премії за виробничі результати, оплату чергових та додаткових відпусток та інше. Додаткова заробітна плата складає 40% від основної, та розраховується за формулою:

$$ЗД = ЗО \cdot \frac{К_д}{100}, \text{ грн}$$

де $К_д$ – процент додаткової заробітної плати.

$$ЗД = 3120 \cdot \frac{40}{100} = 1248 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальні заходи являють собою форму перерозподілу доходу на фінансування суспільних потреб, розраховуються згідно діючого законодавства і складають 22% від фонду оплати праці. Відрахування на соціальні заходи розраховуються за формулою:

$$ВС = (ЗО + ЗД + ПП) \cdot \frac{К_{вс}}{100}, \text{ грн}$$

де ПП – премії з прибутку, грн;

$К_{вс}$ - % відрахування на соціальні заходи.

$$ВС = (3120 + 1248 + 10) \cdot \frac{22}{100} = 963{,}16 \text{ грн.}$$

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

Загальновиробничі витрати складають в середньому 400% до основної заробітної плати та розраховуються за формулою:

$$ЗВВ = ЗО \cdot \frac{\alpha}{100}, \text{ грн}$$

де α - % загально виробничих витрат.

$$ЗВВ = 3120 \cdot \frac{400}{100} = 12480 \text{ грн.}$$

Вищенаведені витрати складають виробничу собівартість.

Адміністративні витрати вміщують витрати, пов'язані з утриманням адміністративно - управлінського персоналу підприємства, а також утриманням та експлуатацією основних засобів загального виробничого призначення, охорону праці та техніку безпеки персоналу та інші. Адміністративні витрати складають в середньому 300% від основної заробітної плати основних виробничих робітників та розраховуються за формулою:

$$АВ = ЗО \cdot \frac{\beta}{100}, \text{ грн}$$

де β - % адміністративних витрат.

$$АВ = 3120 \cdot \frac{300}{100} = 9360 \text{ грн.}$$

Витрати на технологічну електроенергію:

$$E = T \cdot t \cdot l$$

де Т – тариф на 1 кВт електроенергії;

t – норма часу.

$$Е= 2{,}68 \cdot 52 \cdot 50 = 6968 \text{ грн.}$$

Витрати на збут складаються з витрат, пов'язаних з реалізацією продукції і вміщують витрати на тару та тарні матеріали, транспортування готової продукції, рекламу, витрати на маркетингові дослідження та інші. Витрати на збут складають 2% від виробничої собівартості і розраховуються за формулою:

$$ВЗ = C_в \cdot \frac{\gamma}{100}, \text{грн}$$

де $С_в$ – собівартість виробнича, грн;

γ - % витрат на збут .

$$ВЗ = 26279{,}16 \cdot \frac{2}{100} = 525{,}5 \text{ грн.}$$

Прибуток складає 15% від повної собівартості і розраховується за формулою:

$$П = С \cdot \frac{Р}{100}, \text{ грн}$$

де Р – рентабельність виробу, %.

$$П = 35891{,}66 \cdot \frac{15}{100} = 5383{,}7 \text{ грн}$$

Податок на додану вартість згідно законодавства становить 20% від оптової ціни і розраховується за формулою

$$ПДВ = Ц \cdot \frac{Н_{пдв}}{100}, \text{ грн}$$

де $Н_{пдв}$ – норматив податку на додану вартість, %.

$$ПДВ = 41275{,}36 \cdot \frac{20}{100} = 8255 \text{ грн}$$

Ціна продажу виробу розраховується за формулою

$$Ц_{пр} = Ц + ПДВ, \text{ грн}$$

$$Ц_{пр}=41275{,}3+8255=44200{,}5\text{грн}$$

Калькуляція собівартості і ціни продукції наведена в таблиці 2.2.4.

Таблиця А.2.4 – Калькуляція собівартості і ціни виробу

Статті витрат	Базова технологія	Нова технологія
Сировина і основні матеріали	1500	1500
Купівельні комплектуючі вироби	-	-
Електроенергія технологічна t *Тариф	4200	6968
Основна заробітна плата основних виробничих робітників	2100	3120
Додаткова заробітна плата основних виробничих робітників	840	1248
Відрахування на соціальні заходи з заробітної плати основних виробничих робітників	649,9	963,16
Загальновиробничі витрати	8400	12480
Собівартість виробнича	17689,9	26279,16
Адміністративні витрати	4050	9360
Витрати на збут	370,89	525,5
Собівартість повна	22110,79	35891,66
Прибуток	3685,6	5383,7
Ціна оптова	-	-
Податок на додану вартість	6118,03	8255
Ціна продажу	31915,3	44200,5

Економічна ефективність інноваційного проекту розраховується за показником економії експлуатаційних витрат:

$$E = (Сб \cdot Ке – Сн) \cdot N$$

Е – економічний ефект від впровадження нової технології термообробки;

Де Сб – собівартість базового виробу;

Сн – собівартість нового виробу;

Ке – коефіцієнт експлуатаційного ресурсу;

$$E= (17689,9\cdot 1,5 - 26279,16) \cdot 5500 = 1\ 406\ 295 \text{ грн.}$$

В ході економічних розрахунків було визначено повну собівартість нового інструменту яка становить 26279 грн., прибуток в розмірі 5383 грн., податок на додану вартість та ціну продажу які становлять 8255 та 44200 грн. відповідно.

Отже, видно, що використовуючи лише один новий інструмент можна замінити п’ять базових інструментів використовуючи на це лише в два рази більше матеріалу. Виходячи з цього новій виріб є економічно доцільним.

ДОДАТОК Б
ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В даному розділі наведені основні заходи з охорони праці при дослідженні ефективності сходинкового старіння сплаву із дисперсійним твердінням, для деталей штампувального інструменту.

Б.1 Аналіз потенційних небезпек

а) Небезпеки які пов'язані з порушенням роботодавцем вимог щодо організації робочих місць. А саме: облаштування робочих місць, що може бути пов'язано з відсутністю або непрацездатністю захисних механізмів, втратою конструкційної міцності будівель та споруд.

б) Можливість ураження електричним струмом при виконанні досліджень внаслідок порушень правил з електробезпеки, несправності електроспоживачів, відсутності групових або індивідуальних засобів захисту.

в) Небезпеки які пов’язані з визначенням хімічного складу дослідних матеріалів методом спектрального аналізу.

г) Можливість отримання механічних травм при підготовці зразків для подальшої термічної обробки, дослідження мікроструктури зразків з використанням абразивного інструменту.

д) Небезпеки що пов’язані з дослідженням термічної обробки зразків різного хімічного складу, зокрема можливість отримання термічних опіків при непередбаченому торканні нагрітих поверхонь, або при інтенсивному тепловому випромінюванні.

е) Небезпеки які пов'язані з дослідженням структури методом оптичної металографії з використанням оптичних мікроскопів, зокрема ушкодження

органів зору.

є) Небезпеки що пов’язані з випробуваннями механічних властивостей, зокрема можливість отримання механічних травм.

ж) Небезпеки які пов'язані з обробкою результатів досліджень з використанням ПК внаслідок підвищеної інтенсивності та напруженості праці.

з) Невідповідність вимогам до природнього та штучного освітлення, що призводить до зниження працездатності.

и) Небезпеки які пов'язані з умовами праці у надзвичайних ситуаціях зокрема при пожежах або при порушеннях процедури.

Б.2 Заходи забезпечення безпеки

а) Згідно вимогам НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» передбачено [19].

На підприємстві повинні бути створені здорові і безпечні умови праці для кожного працівника. При цьому необхідно дотримуватись таких основних принципів запобігання небезпекам:

- виключення небезпек, якщо це є можливим і реальним;
- обмеження небезпек, яких уникнути неможливо;
- усунення небезпек, виключення або максимальне обмеження впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників;
- забезпечення пріоритету колективних засобів захисту над індивідуальними;
- врахування людського фактору, зокрема під час вибору засобів виробництва, технології, організації праці, устаткування робочих місць тощо.

Працівники мають бути проінформовані та проінструктовані щодо дій, необхідних у разі виникнення на підприємстві аварійних ситуацій, пов’язаних з безпосередньою загрозою для їх життя і здоров’я, та про вжиті або такі, що мають бути вжитими, запобіжні і захисні заходи.

Роботодавець повинен забезпечувати повну і вичерпну інформацію працівників та їх уповноважених представників з питань охорони праці про можливі небезпечні ситуації, про вжиті заходи для їх запобігання або їх ліквідації та про дії працівників у аварійних ситуаціях [19].

Для забезпечення належного виконання цих заходів роботодавець призначає відповідальних осіб, забезпечує їх підготовку і спорядження відповідно до небезпечності виробництва, масштабів і специфіки підприємства.

Виробничі приміщення повинні мати достатню площу та висоту для раціонального планування робочих зон та місці відповідно до СНиП 2.09.04-87 «Административные и бытовые здания» [19].

б) Для виключення можливості ураження електричним струмом передбачено:

Всі співробітники лабораторії повинні пройти навчання та перевірку знань з електробезпеки.

Усе технічне обладнання повинно бути заземлено з опором заземлюючого контуру 4 – 10 Ом (ПУЕ-2015). Обов'язковим є щоденна перевірка щільності заземлювачів, не рідше як 2 рази на рік перевірка контактів та електричних з'єднань, ремонт обладнання проводять особи які мають кваліфікаційну групу не менше 3. Передбачається використання тільки подвійної ізоляції провідників (ПТБЕ) класу IP44.

Стосовно розташування струмоведучих частин на недоступній висоті (до 1000В – не менше 3,5 м; більше 1000В – не менше 6 м). Усі неізольовані струмопровідні лінії повинні бути надійно огороджені, відкриття можливо тільки за допомогою спеціальних пристроїв.

в) Заходи безпеки при визначенні хімічного складу дослідних матеріалів методом спектрального аналізу. Фізичні основи цього методу заснований на якісному та кількісному визначенні атомного і молекулярного складу розчину по їх спектрам.

Основою цих методів є введення зразків в джерело жорсткого випромінювання де відбувається збудження атомів та їх перетворення в спектральне світіння, таким чином, таким чином основною небезпекою є шкідливий вплив електромагнітного або рентгенівського випромінювання [19].

Передбачено:

- необхідно в повній мірі володіти даними з інструкції з експлуатації.

Наприклад неприпустимим є перевищення номінальної напруги значення якої призначено для певних видів матеріалів;

- особи, що працюють із спектрометрами повинні мати кваліфікацію групи з електробезпеки не нижче 3, передбачене більш часте проведення медичних оглядів, передбачення захист часом;

- робоча камера, де відбувається сам процес виконується з особливих матеріалів, герметичних.

Сучасна конструкція спектрометрів попереджує розподіл зони встановленого устаткування да зони де розташовується робоче місце [19].

г) Для виключення механічних травм при підготовці зразків передбачено:

При необхідності проведення токарної, фрезерної, шліфувальної обробки обов'язковим є виконання інструкцій з експлуатації та техніки безпеки при використанні відповідного обладнання. Відносно безпеки виконавців обов'язковим є використання індивідуальних засобів захисту: окуляри (ГОСТ 12.4.013-85), спецодяг (ГОСТ 12.4.049-78) та спецвзуття (ГОСТ 28507-99).

У відповідності з НПАОП 28.0-1.30-12 «Правила охорони праці під час роботи з абразивними інструментами»:

При установці абразивного кругу необхідно між фланцями і кругом встановити прокладки з картону або другого еластичного матеріалу товщиною 0,5 – 1мм.

Перед початком роботи круг, встановлений на станок повинен бути перевірений на ходу при робочому числі обертів.

Роботу можна починати тільки впевнившись в тому, що круг не має биття, а биття шпінделя шліфувального станка не перевищую 0,03 мм.

Захисний екран повинен бути зблокований з пусковим механізмом який виключає можливість пуску станка при піднятому екрані.

На підприємствах де застосовується абразивний інструмент повинні бути інструкції:

- по установці і експлуатації абразивного інструменту;

- по випробуванні кругів на міцність.

Для підтримки виробів які подають до шліфувального кругу вручну повинні застосовуватися підручники або пристосування які їх заміняють.

Підручники повинні переміщатись, що дозволяє встановлювати їх встановлювати в необхідному положенні по мірі стирання кругу.

Заходи захисту при використанні абразивного інструменту: абразивні кола повинні мати штамп про випробування на експлуатаційну надійність.

Кожний верстат повинен мати табличку зі значенням допустимої колової швидкості, що дає змогу використовувати тільки ті абразивні кола, допустима колова швидкість яких в межах зазначених на табличці [19].

д) Для уникнення термічних травм під час проведенні термічної обробки зразків передбачено:

- У термічних цехах підлоги слід виконувати з рифленої чавунної плитки або іншого матеріалу, що відповідає вимогам вогнестійкості і поверхневої міцності. Вони повинні бути рівними, неслизькими, волого- і непроникними для масла та легко очищатися від бруду.

- Ширина проходів у приміщеннях із термічнім обладнанням повинна бути не менше 1 м.

- Прибирання робочих місць, проїздів і проходів повинно здійснюватися протягом усього робочого дня і після кожної зміни.

- У випадку тривалого перебування працівників біля джерел інтенсивного опромінення (більше 350 Вт/кв.м) на робочі місця слід подавати зосереджене чисте припливне повітря зі швидкістю не більше 3,5 м/с (1-3,5 м/с) залежно від інтенсивності опромінення.

е) Оптичний мікроскоп призначений для дослідження мікроструктури об’єктів в світловому полі при прямому або відбитому освітленні. Для візуального спостереження об’єктів мікроскоп облаштований моно- і бінокулярною насадками. Освітлення здійснюється від лампи розжарювання яка забезпечує направлений світловий потік.

Заходи захисту:

- для уникнення хімічних опіків при травленні мікрошліфів передбачено:

використання об’ємів травників що відповідають добовій потребі. Обов’язковим є використання індивідуальних засобів захисту таких як гумовий фартух, гумові рукавиці, захисні окуляри. Доцільним є улаштування місцевої витяжної вентиляції зонд якої безпосередньо над зоною де відбувається травлення.

Використання вентиляційних шкафів.

- безпечне використання мікроскопа можливе лише за умови раціональної комбінації об’єктів і окулярів. Треба враховувати ту обставину, що найбільш оптимальним є збільшення в межах від 500 до 1000 апертут. Крім правильної комбінації об’єктів і окулярів важливим є правильним застосування світлофільтрів, як правило при роботі з об’єктивами – ахроматорами – слід застосовувати світлофільтри.

є) При проведеннімеханічних випробовувань зразків персонал лабораторії має бути забезпечений спецодягом та засобами індивідуального захисту, а саме:

- костюм бавовняний;

- черевики шкіряні;

- рукавички комбіновані;

- окуляри захисні.

На протязі робочої зміни лаборанту слід виконувати таки вимоги:

- у зоні розташування машини рух і, прохід людей закривається шляхом огородження й встановлення знаків безпеки;

- усі пускові пристрої слід забезпечити пристроями, які мають унеможливити пуск машини сторонніми особами;

- пульт керування для проведення ремонту забезпечений засобами вимикання від джерела електроенергії;

- змащення підшипників у шарнірах вимірювача міцності має бути мінімальним, достатнім для запобігання від корозії та чутливості машини;

- направляючі поверхнів губок і обойм мають бути без ушкоджень, слідів корозії;

- через 700-800 годин роботи на машині необхідно заміняти мастило в гідросистемі а через 3-4 місяці - перевіряти затягування всіх нарізних з'єднань;

- поверхні столів, захоплень, усі місця і частини тертя та обертання змащуються відповідно до технічної документації мастилами які не містять кислот;

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

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;

Тривалість безперервної роботи з комп'ютером без регламентованої перерви не повинна перевищувати 2 годин. Під час регламентованої перерви з метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, усунення впливу гіподинамії, запобігання розвитку втоми доцільно виконувати комплекси вправ. Рівень шуму в приміщенні під часроботи комп'ютерів не повинен перевищувати 50 дБ. 78 Конструкція відео монітора повинна передбачати заходи, що забезпечують хорошу розбірливість зображення, незалежну від зовнішнього освітлення [19].

Б.3 Заходи забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці

з) Освітлення в приміщенні повинно відповідати вимогам ДБН В.2.5-28-2006 «Природнє та штучне освітлення»: Освітленість від системи загального освітлення повинна складати не менше 200 лк при розрядних лампах і 100 лк при лампах розжарювання. Створювати освітленість більше 750 лк при розрядних лампах і 300 лк при лампах розжарювання дозволяється тільки за наявності обґрунтування; Освітленість від світильників загального освітлення в системі комбінованого підвищувати на один ступінь за шкалою освітленості. При суміщеному освітленні для приміщень громадських будинків з боковим освітленням при розрахунковому значенні КПО (коефіцієнт природного освітлення), яке дорівнює або менше 80 % від нормованого значення, освітленість від загального штучного освітлення слід підвищувати на один ступінь за шкалою освітленості. Штучне освітлення може бути двох систем - загальне та комбіноване. Робоче освітлення слід передбачати для всіх приміщень будинків, а також ділянок відкритих просторів, призначених для роботи, проходу людей та руху транспорту. Для приміщень, які мають зони з різними умовами природного освітлення та різними режимами роботи, повинно передбачатись окреме керування освітленням таких зон. За необхідності частина світильників робочого або аварійного освітлення може бути використана для чергового освітлення.

Для освітлення приміщень слід використовувати, як правило, найбільш економічні розрядні лампи. Використання ламп розжарювання для загального освітлення допускається тільки у випадках неможливості або технікоекономічної недоцільності використання розрядних ламп. Для місцевого освітлення, крім розрядних джерел світла, рекомендується використовувати лампи розжарювання, в тому числі галогенні. Застосування ксенонових ламп у приміщеннях не дозволяється.

Освітленість робочої поверхні, створена світильниками загального освітлення в системі комбінованого, повинна складати не менше 10 % нормованої для комбінованого освітлення при таких джерелах світла, які застосовуються для місцевого освітлення. При цьому освітленість повинна бути не менше 200 лк при розрядних лампах, не менше 75 лк - при лампах розжарювання. Створювати освітленість від загального освітлення в системі комбінованого більше 500 лк при розрядних лампах і більше 150 лк при лампах розжарювання допускається тільки за наявності обґрунтувань [20].

Нормою освітлення для приміщень дослідницької лабораторії є 300лк.

Розрахунок освітленості приміщення дослідницької лабораторії.

1. Визначаємо сумарний світловий потік освітлювальної установки $Ф_{\sum}$:

$$Ф_{\sum}=\frac{Ен \cdot А \cdot В \cdot Кз \cdot z}{\eta}$$

де Ен – рівень нормованого загального освітлення, лк;

А – довжина приміщення, м; В – ширина приміщення, м;

Кз – коефіцієнт запасу;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

$$Ф_{\sum} = \frac{300 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}1}{0{,}62} = 39919 лм.$$

2. Вибір світильника та відповідної лампи

Обираємо світильник типу ЛПП та лампу ЛХБ (Фл=2840лм).

3. Розрахунок кількості світильників та ламп

$$N_{св} = \frac{\Phi\Sigma}{\Phi л}$$

$$N_{св} = \frac{39919}{2840} = 14 \text{ штук.}$$

4. За умови встановлення двох ламп в один світильник отримуємо 7 світильників по 2 лампи.

5. Перевірка емпіричним методом

На рисунку 5.1 зображено схему розташування світильників

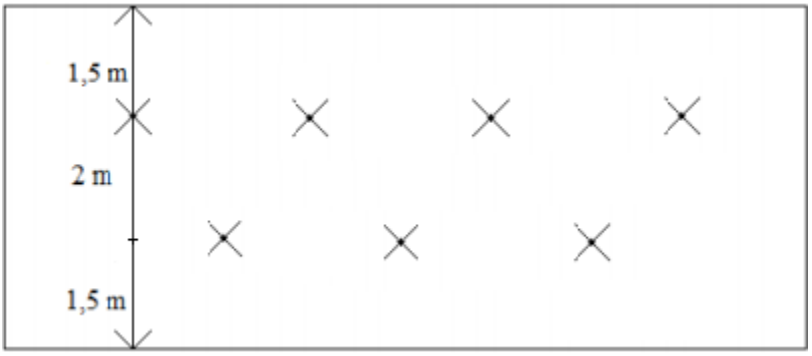


Рисунок 5.1 – Схема розташування світильників

6. Чисельна перевірка типу світильника і кількості стандартних ламп

$$E_р = (-10\%...+20\%) \cdot E_н$$

Розраховуємо загальну розрахункову освітленість

$$E_р = \frac{Фл \cdot Nл \cdot \eta}{A \cdot B \cdot Kз \cdot z}$$

$$E_р = \frac{2840 \cdot 14 \cdot 0{,}62}{10 \cdot 5 \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}1} = 299 лк.$$

Загальна розрахункова освітленість становить 299 лк, що потрапляє в інтервал Ер = 270≤299≤360 лк. Отже, рівень освітленості задовільний.

5.4 Заходи з забезпечення пожежної безпеки та режими функціонування в умовах надзвичайних ситуацій.

5.4.1 Заходи з пожежної безпеки в умовах надзвичайної ситуації та забезпечення безпеки в разі виникнення надзвичайних ситуацій

и) «Заходи з пожежної безпеки» розробляється відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» [19].

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

Відповідно до категорії виробництва з пожежної небезпеки і вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об’єктів будівництва. Загальні вимоги», указати ступінь вогнестійкості приміщення об’єкта (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, дільниці, підстанції, цеху, тощо) [19].

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

- автоматичних сигналізаторів про пожежу;
- системи пожежної сигналізації;

З огляду на пожежну небезпеку, передбачити первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники різних видів), відповідно до вимог «Правил 58 експлуатації та типових норм належності вогнегасників», зареєстрованих в МЮ України 23.02.2018 р. за № 225/31677.

Виробничі приміщення можуть бути обладнані стаціонарними установками автоматичного пожежогасіння.

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

Виходячи з аналізу речовин та матеріалів, які використовуються при роботі у приміщенні (лабораторії, офісу, тощо) обладнаному ПК з ВДТ:

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

- відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», воно належить до категорії «Д» з пожежної небезпеки – простір у приміщенні, у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали [19].

Оскільки приміщення (лабораторії, офісу, тощо) обладнане ПК з ВДТ належить до виробництв категорії «Д» з пожежної небезпеки, тому згідно вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об’єктів будівництва. Загальні вимоги» воно має ІІ ступінь вогнестійкості.

Згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту», в приміщенні (лабораторії, офісу, тощо) обладнаному ПК з ВДТ встановлена система пожежної й охоронної сигналізації «Сигнал-ВК6». Яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика [19].

Оскільки приміщення (лабораторії, офісу, тощо) що обладнане ПК з ВДТ має площу 39 м2 , тому відповідно до вимог п. 5 розділу VI «Вибір типу та необхідної кількості вогнегасників», «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», зареєстрованих в МЮ України 23.02.2018 р. за № 225/31677 для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, передбачені вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-3,5 у кількості 2 штук (з розрахунку один вогнегасник с величиною заряду вогнегасної речовини 3 кг. і

більше, на 20 м2 площі приміщення). Додатково, на кожному поверсі будівлі, в якій розміщене приміщення обладнане ПК з ВДТ, передбачене два переносних порошкових вогнегасника – ВП-5. Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 10 м [20].

Б.4.2. Умови стійкості об’єктів.

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

Ударною хвилею називається область різкого стиску середовища, що поширюється у вигляді сферичного шару від місця вибуху з 85 надзвуковою швидкістю. Ударні хвилі класифікуються в залежності від середовища поширення. Ударна хвиля в повітрі виникає за рахунок передачі стиснення і розширення шарів повітря. Зі збільшенням відстані від місця вибуху хвиля слабшає і перетворюється на звичайну акустичну. Хвиля при проходженні через дану точку простору викликає зміни в тиску, що характеризуються наявністю двох фаз: стиснення та розширення. Період стиснення настає відразу і триває порівняно невеликий час в порівнянні з періодом розширення. Руйнівна дія ударної хвилі характеризують надлишковий тиск у її фронті (передній межі), тиск швидкісного напору, тривалість фази стиснення.

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

ушкоджувати бойову техніку. Ударна хвиля являє собою область сильного стиснення повітря, що розповсюджується з великою швидкістю у всі сторони від центра вибуху.

Швидкість поширення її залежить від тиску повітря у фронті ударної хвилі; поблизу центра вибуху вона в декілька разів перевищує швидкість звуку, але із збільшенням відстані від місця вибуху різко падає Вражаюча дія ударної хвилі на людей і руйнуючу дію на бойову техніку, інженерні споруди і матеріальні кошти передусім визначаються надмірним тиском і швидкістю рушення повітря в її фронті. Незахищені 86 люди можуть, крім того поранитися осколками скла, що летять з величезною швидкістю і обломками будівель, що руйнуються, падаючими деревами, а також частинами бойової техніки, що розкидаються, камінням і іншими предметами, що приводяться в рушення швидкісним натиском ударної хвилі.

Найбільші непрямі поразки будуть спостерігатися в населених пунктах і в лісі; в цих випадках втрати військ можуть виявитися більшими, ніж від безпосередньої дії ударної хвилі. Ударна хвиля здатна завдавати поразки і в закритих приміщеннях, проникаючи туди через щілини і отвори. Поразки, що наносяться ударною хвилею, поділяються на легкі, середні, важкі і надто важкі. Легкі поразки характеризуються тимчасовим пошкодженням органів слуху, загальною легкою контузією, ударами і вивихами кінцівок. Важкі поразки характеризуються сильною контузією всього організму; при цьому можуть спостерігатися пошкодження головного мозку і органів черевної порожнини, сильна кровотеча з носа і вух, важкі переломи і вивихи кінцівок.

Механічне вплив ударної хвилі оцінюється за ступенем руйнувань, викликаних дією хвилі (виділяються слабке, середнє, сильне і повне руйнування). Енергетичне, промислове і комунальне обладнання в результаті дії ударної хвилі може отримати пошкодження, також оцінюються за їх тяжкості (слабкі, середні і сильні). Вплив ударної хвилі може призвести також до пошкоджень транспортних засобів, гідровузлів, лісових масивів. Як правило, шкода, яка завдається впливом

ударної хвилі, дуже великий, він наноситься як здоров'ю людей, так і різним спорудам [21].