

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет
(повне найменування факультету)

Фізичне матеріалознавство
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему Встановлення технологічності сталі типу ЕК28

(назва теми)

Виконав(ла): студент(ка) V курсу, групи ІФ 212м

Спеціальності 132 Матеріалознавство
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

ДЕМЕНТЬЄВА Г.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ГЛОТКА О.А.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент _____

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Інженерно – фізичний _____

Кафедра Фізичне матеріалознавство _____

Ступінь вищої освіти магістр _____

Спеціальність 132 Матеріалознавство _____

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Прикладне матеріалознавство _____

(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 20 ____ року

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

ДЕМЕНТЬЄВА Ганна Андріївна

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Встановлення технологічності сталі типу ЕК28.

керівник проєкту (роботи) доцент, к.т.н. ГЛОТКА Олександр Анатолійович _____,

(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «18» квітня 2023 року № 122

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) марка сплаву ЕК28 _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Літературний огляд; 2 Матеріали та методики досліджень; 3. Експериментальна частина; 4. Економічна частина; 5. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях,

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів)

Схема процесу штампування в закритому штампі, схема процесу штампування у відкритому штампі, хімічний склад сплаву ЕК28, % мас, границя довготривалої міцності для сплаву ЕК28, графік базової термічної обробки матриці, мікроструктура сплаву ЕК28 після гартування та подальшого старіння, Графік рекомендованої термічної обробки матриці штампі зі сплаву ЕК28, мікроструктура сплаву після гартування та сходинкового старіння, розподіл за розміром частинок γ' -фази типу $\text{Ni}_3(\text{Ti}, \text{Al})$ після одинарного (крива 1) та сходинкового (крива 2) старіння, зміна механічних властивостей сплаву ек28 після сходинкового старіння, висновки.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	ГЛОТКА О., доцент, к.т.н		
2	ГЛОТКА О., доцент, к.т.н		
3	ГЛОТКА О., доцент, к.т.н		
4	КРУГЛІКОВА В.О, доцент, к.т.н		
5	НЕСТЕРОВ О.В., доцент, к.т.н		
НК			
7			

7. Дата видачі завдання «_____» _____ 20__ року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Літературний огляд		
2	Матеріали та методики досліджень		
3	Експериментальна частина		
4	Економічна частина		
5	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях		
6	Висновки		

Студент(ка)

_____ Ганна ДЕМЕТЬЄВА
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

_____ Олександр ГЛОТКА
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи: 87 с., 11 табл., 15 рис., 18 джерел

МАТРИЦЯ, ЗАЛІЗО-НІКЕЛЕВИЙ СПЛАВ, ЖАРОМІЦНІСТЬ, УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ, ЛЕГУВАЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ, МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ, ТЕРМІЧНЕ ОБРОБЛЕННЯ, КОНТРОЛЬ

Об'єкт розробки – матриця для штампу зі сплаву ЕК28.

В дипломній роботі розробляється технологія технологічний процес, зокрема режим термічної обробки для матриці штампу, виготовленого із залізо-нікелевого сплаву, з урахуванням умов експлуатації та вимог до матеріалу. Було зроблено:

- враховано умови експлуатації та вимоги до матеріалу при розробці технології.
- встановлено режим термічної обробки для матриці штампу.
- проведено аналіз і вивчення вимог, що стосуються матеріалу і умов експлуатації.
- виконано випробування та оцінку результатів розробленої технології.
- оптимізовано процес термічної обробки для забезпечення найкращих властивостей матриці штампу.
- здійснено порівняння розробленої технології з існуючими підходами та визначено її переваги та недоліки.

При виконанні дипломної роботи вирішуються такі питання:

- аналізуються умови експлуатації виробу та вимоги до матеріалу, аргументується вибір сплаву, що найбільш повно задовольняє цим вимогам;

- аналізується обраний матеріал, його технологічні, механічні та експлуатаційні властивості, а також вплив компонентів на формування структури та властивостей матеріалу.

- з використанням довідкової, науково-технічної та навчальної літератури обґрунтовується вибір технології термічної обробки, що забезпечує отримання оптимальних властивостей матеріалу матриці штампуг;

- розробляється технологічна карта термічної обробки, вибираються необхідні параметри процесів (операцій) та засоби контролю якості виробів при термічній обробці (інструменти, пристосування, прилади, обладнання)

ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	8
Літературний огляд	9
1 Визначення характеристик теплостійких штампових сталей	9
1.1 Умови роботи інструментів для гарячого деформування металів	9
1.1.1 Загальні особливості гарячого деформування металів	9
1.1.2 Обладнання та схеми гарячого штампування	11
1.1.3 Особливості умов експлуатації пресових матриць та вимоги до штампових сталей для інструментів гарячого деформування металів	14
1.2 Штампові сталі та сплави високої теплостійкості для інструментів гарячого деформування металів	18
1.2.1 Серійні теплостійкі штампові сталі	18
1.2.2 Використання сталей та сплавів на основі ГЦК кристалічної ґратки із дисперсійним твердінням	21
1.2.3 Оцінка працездатності теплостійких штампових сталей за механічними властивостями	23
2 Матеріали та методики досліджень.....	26
2.1 Характеристика обраного матеріалу	26
2.2 Методи дослідження матеріалів	36
2.2.1 Макроскопічний метод дослідження	36
2.2.2 Мікроскопічний метод дослідження	37
2.2.3 Механічні випробування	39
3 Експериментальна частина.....	40
4 Економічна частина.....	48
4.1 Тенденції розвитку світового ринку технологій	48
4.2 Техніко-економічні розрахунки	51
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	61

	7
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	61
5.2 Заходи по забезпеченню безпеки.....	62
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.....	66
5.4 Заходи з пожежної безпеки.....	69
5.5 Заходи забезпечення безпеки в умовах надзвичайних ситуацій	70
Висновки	75
Перелік посилань.....	77
ДОДАТОК А	

ВСТУП

Перетворення структури у теплостійких сталях мартенситного класу, що характеризується поліморфізмом при високих температурах (понад 700 °C), є основною причиною втрати міцності та працездатності для інструментів, які використовуються при гарячому деформуванні металів. У порівнянні з цим сталі, які зміцнюються дисперсійним твердінням уникають цього недоліку і, таким чином, можуть бути ефективно використані як альтернатива для інструментів що працюють при високих температурах. Це дозволяє жароміцним сталям і сплавам впевнено використовуватися в промисловості для виготовлення інструментів для гарячого деформування металів. Тим не менш, специфічні умови експлуатації гарячештапових та пресових інструментів вимагають більш ретельного аналізу відповідності матеріалів саме для цих умов роботи.

Один із таких матеріалів - це сплав ЕК28, який відноситься до класу жаростійких залізо-нікелевих сплавів. Він відзначається високою міцністю, термічною стійкістю та корозійною стійкістю, тому цей сплав може стати гарним вибором для виготовлення дисків інструментів для гарячого штампування деталей. Тим не менш, для забезпечення надійності та тривалої експлуатації матриці штампу необхідно провести дослідження його властивостей та термічної обробки.

У даній роботі буде проаналізовано умови та вимоги до штапових матеріалів та доречність використання сплаву ЕК28 для виготовлення матриць штампу для гарячого штампування деталей. Метою роботи є вивчення механічних, термічних та корозійних властивостей сплаву, а також аналіз його структури та мікроструктури. Ми також розглянемо можливі методи покращення властивостей сплаву шляхом термічної обробки.

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1 Визначення характеристик теплостійких штампових сталей

1.1 Умови роботи інструментів для гарячого деформування металів

1.1.1 Загальні особливості гарячого деформування металів

Обробка тиском ґрунтується на здатності металу витримувати пластичну деформацію, що означає його здатність змінювати форму та розміри під дією зовнішніх сил, не призводячи при цьому до руйнування. Основною метою обробки тиском є досягнення максимальної відповідності форми та розмірів заготовки формі й розмірам деталі. Обробкою тиском отримують прутки круглого, квадратного, шестикутного профілю, фасонні профілі, труби, листи, дріт, кованки, штамповані деталі та інші вироби. Більшість сталей і майже половина кольорових металів і сплавів можуть бути оброблені за допомогою цього методів обробки металів тиском.

Гаряче деформування відбувається при температурах, що перевищують температуру порогу рекристалізації. В цьому випадку, разом із зміцненням, також відбувається процес знеміцнення, відомий як рекристалізація. Це призводить до незначних змін механічних властивостей металу після гарячої обробки. Операції високотемпературного деформування, які часто використовуються, включають об'ємне штампування, формування, гнуття, різання та вільне кування. Інструменти, задіяні в операціях пресування, висадки та точного штампування, зазнають найбільші показники навантаження.

Найбільш використовуваним обладнанням для гарячої обробки металів тиском є штампувальні молоти, преси тощо. Штампові інструменти для гарячого деформування за особливостями експлуатації поділяють на:

- Пресові інструменти, що здійснюють деформацію матеріалу, навантажуючи його повільно. У зв'язку з цим інструмент тривалий час

перебуває в контакті з матеріалом заготовки, що призводить до суттєвого підвищення температури його поверхні.

- Інструменти молотових штамів, що працюють у режимі ударного навантаження. Такий режим роботи призводить до менш тривалого контакту інструментів з розігрітим матеріалом заготовки. Результатом цього, є те, що температура поверхні штампових інструментів значно нижча, порівняно з температурою при використанні пресових інструментів.

- Інструменти для високошвидкісного деформування, які піддаються високим ударним навантаженням при підвищених питомих тисках. Основна відмінність в умовах їх використання полягає в тому, що термічний та силовий вплив на інструменти є менш тривалим.

Як висновок з вищесказаного, можна зазначити що основними характерними особливостями роботи інструменту гарячого деформування є:

- Під час роботи штампового інструменту Ю.А.Геллер вказує, що поверхневі шари (товщиною від 0.6 до 1,0 мм) можуть нагріватися до високих температур. При обробці важкодеформівних металів цей нагрів може становити від 650 °C до 750 °C, а при гарячому пресуванні - від 900 °C до 1000 °C. У результаті утворюється температурний градієнт, який зменшується з приближенням до центру інструмента до 400-500 °C [2].

- Величина питомих навантажень, які впливають на інструмент, залежить від кількох факторів, таких як матеріал штампованої заготовки, температура нагрівання, складність конфігурації майбутньої деталі, наявність змащення, ступінь видалення окалини та розміри зношування штампу;

- одночасна, циклічна, знакозмінна дія температури та тисків.

1.1.2 Обладнання та схеми гарячого штампування

Процес гарячої штамповки включає деформацію металевої заготовки у нагрітому стані з метою зміни не лише її форми, але й розмірів. Зазвичай ця техніка використовується для модифікації геометричних параметрів не лише в одній площині, а в кількох просторових напрямках. У таких випадках дана процедура отримує назву "гаряче об'ємне штампування".

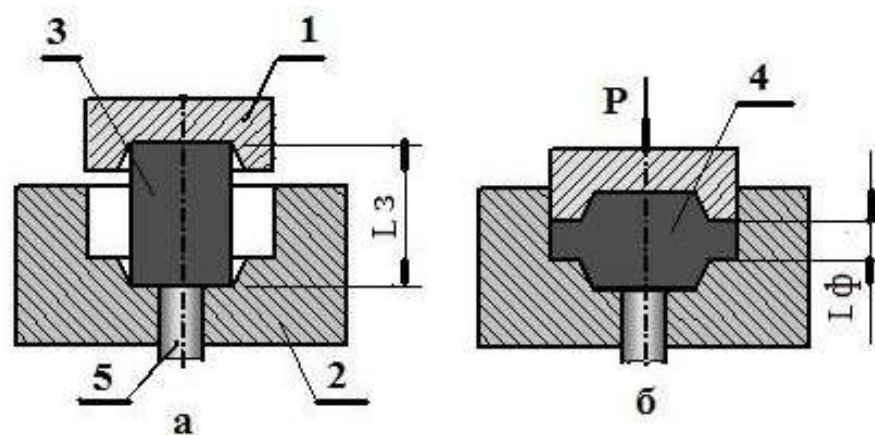
Основна ідея гарячого штампування полягає в тому, що металевий виріб формується шляхом впливу на підігріту до певної температури заготовку під високим тиском за допомогою спеціального штампа. Процес передбачає зміну температури матеріалу від просто нагрітої поверхні до кувальної. Щоб контролювати нагрівання металу в конкретних напрямках, внутрішню поверхню штампа оснащують спеціальними порожнинами і виступами. Такий підхід дозволяє створити у внутрішній частині штампа замкнуту порожнину (струмок), форма якої повністю відповідає конфігурації готового виробу.

Гаряче об'ємне штампування здійснюється на металевих брусках різних форм - квадратних, прямокутних, круглих або із періодичним профілем. У окремих випадках виготовлення готових виробів за методом гарячого об'ємного штампування може виконуватися з одного цілого металевого прутка. Спочатку частина прутка формується у поковку з необхідними геометричними параметрами, а потім її відокремлюють за допомогою різання. Проте, як правило, заготовки для гарячого об'ємного штампування зазвичай вирізають із металевого прутка.

Максимальну ефективність процесу штампування деталей можна досягти, якщо перед їх виготовленням застосовується попередній нагрів, особливо це важливо при серійному та масовому виробництві. Зокрема, використання цієї технології для виробництва металевої продукції у великих обсягах надає низку переваг:

- Відходи металу, з якого виготовляється продукція, зменшуються.
- Ця технологія дозволяє виробляти продукцію складної форми.
- Виготовлені шляхом гарячого штампування металеві вироби вирізняються не тільки винятковою точністю геометричних параметрів, але й високою якістю поверхні.

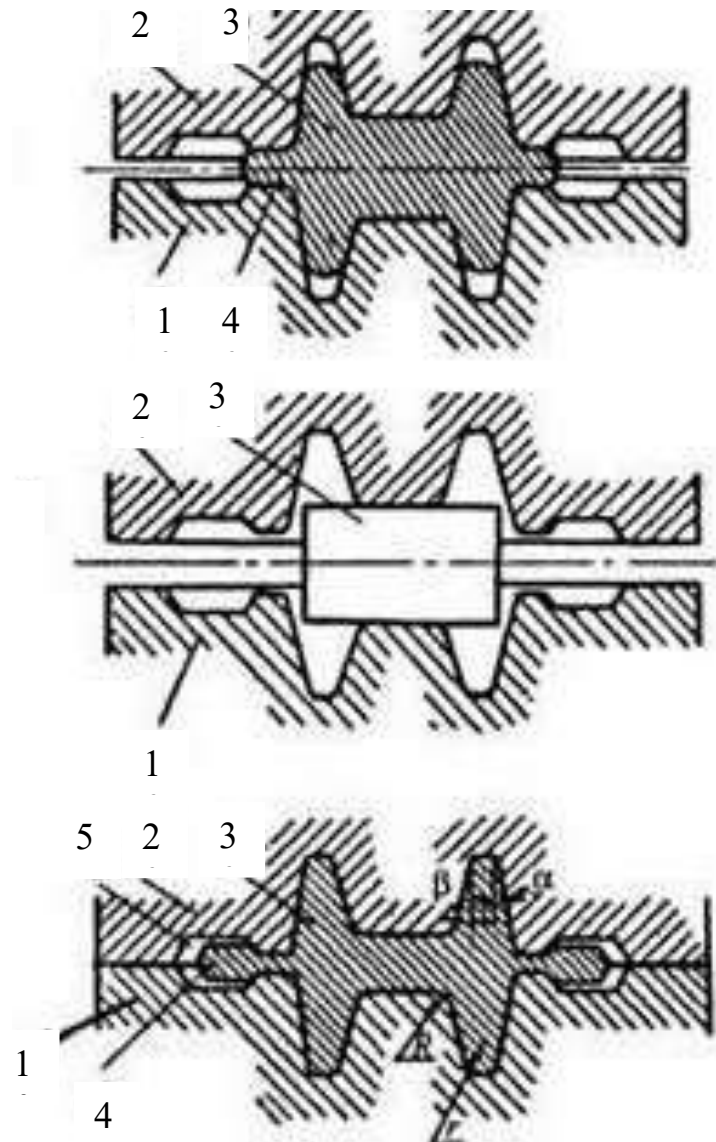
На рисунку 1.1 подано схему процесу закритого штампування [1]. Закрите штампування є технологічною операцією, що виконується у штампі, де зазор між рухомою і нерухомою частинами мінімальний. Згідно з даною методикою, гаряче штампування можна проводити на пресах, де верхня частина штампа оснащена виступом, а нижня – порожниною, або на молотах, де порожнина знаходиться у верхній частині робочого інструменту, а виступаюча частина – у нижній. Використання штампів цього типу передбачає точне збігання об'ємів поковки і готової деталі. Зокрема, штампи закритого типу можуть мати не лише одну, але й дві площини роз'єму, які розташовані під прямим кутом одна до одної.



- 1 – верхня половина штампу; 2 – нижня половина штампу (матриця);
 3 – вихідна заготовка; 4 – штампована поковка; 5 – виштовхувач; 6 – деталь,
 отримана в результаті обробки штампованої поковки

Рисунок 1.1 — Схема процесу штампування в закритому штампі [1].

Суть відкритого штампування для гарячої обробки полягає у наявності спеціального зазору між рухомою та нерухомою частинами штампа, в якому видаляються надлишки металу, утворені під час його деформації. Використання штампів відкритого типу має значні переваги і можливе для обробки різних видів матеріалів. Графічна схема цього методу представлена на рисунку 1.2.



1, 2 – нижня (матриця) та верхня половини штампу; 3 – вихідна заготовка; 4 – задирок; 5 – задирковий канал.

Рисунок 1.2— Схема процесу штампування у відкритому штампі.

Досягнення максимальної ефективності виготовлення деталей через штампування передбачає їхній попередній нагрів, що особливо важливо при серійному та масовому виробництві. Зокрема, використання цієї технології для виробництва масових серій металопродукції має певний ряд переваг.

- Меншають відходи металу, що використовуються у виробництві продукції.;
- Значно підвищується продуктивність праці;
- Застосовуючи цю технологію, можливо виробляти продукцію що має складну геометрію;
- Вироби, отримані методами гарячого штампування металу, виділяються не лише винятковою точністю геометричних параметрів, але також високою якістю поверхні [1].

1.1.3 Особливості умов експлуатації пресових матриць та вимоги до штампових сталей для інструментів гарячого деформування металів

Робочі умови матриць для гарячого штампування та пресування визначаються з аналізу їх розташування та функціональної ролі у пресі. Як видно з рисунків 1.1. та 1.2., матриця прямо контактує з гарячим металом, який піддається деформації. Внаслідок цього, експлуатаційні характеристики матриць для гарячого деформування включають високу температуру поверхні інструменту під час роботи. При використанні конкретних режимів гарячого пресування поверхневий шар контактної поверхні матриць нагрівається до 900...1000 °C [1].

Під час експлуатації інструменти для гарячого формування опиняються в складних умовах навантаження, які характеризуються [1]:

1) зростає рівень ефективних напружень, що наближається до межі текучості сталей, що використовуються для виготовлення штампів.;

2) високі температури підігріву, що зближуються або, у деяких випадках, перевищують температури фазового переходу сталей для штампування;

3) повторювана, впливаюча на матеріал напруга від сил теплової деформації, які визначаються умовами нагрівання та охолодження форми, а також напруг, спричинених фазовими перетвореннями;

4) хімічний вплив матеріалів що піддаються штампуванню, який особливо виявляється під час процесів пресування та напіврідкого штампування.

Стійкість штампа та матриці залежать від багатьох факторів. Фактори, що визначають стійкість штампів та матриць, можна розділити на три групи [1].

До першої категорії входять різноманітні параметри та характеристики, що стосуються процесу штампування. Це включає форму та масу отриманої заготовки, ступінь деформації та умови деформації металу, його стійкість до деформації, фізико-хімічні та теплофізичні властивості, хімічний склад і температура нагріву оброблюваного металу, присутність та товщина окалини на заготовці, тип використовуваного мастила, умови нагріву та охолодження штампів, точність розмірів отриманої заготовки, тривалість служби штампа, а також сезонні впливи та інші аспекти..

До другої категорії включаються параметри обладнання для штампування: швидкість деформації, робочий цикл та пов'язаний із ним час контакту між заготовкою і матрицею під тиском, період часу, протягом якого ковка перебуває в штампі після завершення процесу штампування, а також інші параметри. Сюди входить наявність ежектора та особливості його роботи.

Властивості матеріалу для штампування, які входять до третьої групи, включають жорсткість, міцність, термостійкість, стійкість до зношування та

інші параметри. Також враховується мікрогеометрія та фізико-хімічні характеристики поверхневого шару, які впливають на коефіцієнти тертя.

Метал, який використовується для гарячого штампування, повинен мати певні властивості, а саме:

- Термостійкість. Стійкість до впливу температури. Матеріал для гарячого штампування повинен володіти високою міцністю і стійкістю до зносу при низьких температурах, щоб сповільнити процеси відпускання та деформації елементів, які нагріваються під час обробки гарячого металу.

Термостійкість представляє собою циклічне нагрівання і охолодження поверхні форми під час експлуатації, що чергуються з розширенням і стисканням поверхневих шарів, що може спричинити виникнення тріщин. Матеріал для виготовлення штампів повинен володіти високою термостійкістю.

- Термічний опір. Висока термостійкість металу гарячих штампів повинна залишатися незмінною під тривалим впливом температури, і матеріал повинен витримувати ефекти відпуску.

- В'язкість. Деформація металу під час штампування включає взаємодію цього металу із пуансоном, тому матеріал пуансонів повинен володіти певною пластичністю, особливо при використанні методів штампування молотами. Іноді досягнення бажаного рівня пластичності може вимагати часткового зниження показників термостійкості.

- Прожарюваність. Деякі види штампів мають доволі великі розміри, тому для отримання оптимальних властивостей по всьому поперечному перерізу, зокрема достатньої ударної в'язкості, матеріал штампів повинен володіти властивістю глибинного прожарювання.

- Стійкість до відпускнуї крихкості є важливою характеристикою, оскільки цей дефект можна усунути шляхом швидкого охолодження великих матриць. Тому сталь повинна виявляти мінімальну чутливість до цього типу дефектів [5].

Виникнення передчасних поломок інструменту може бути спричинено різними чинниками, такими як неправильна конструкція, невірне використання, дефекти в термічній обробки, дефекти що присутні в матеріалі та інші аспекти. З розвитком технології штампування та збільшенням обсягів виробництва складноформованих деталей, інструмент стає більш схильним до поломок через крихке руйнування, викликане змінами в структурі, міцності та пластичності матеріалів штампів під час деформації.

Присутність молібдену сприяє поліпшенню термостійкості, загартовування і зменшенню схильності до зворотної відпускну крихкості. Це особливо важливо для великих інструментів, де швидке охолодження не є ефективним методом уникнення цього типу проблем [4].

Основними факторами, що впливають на втрату ефективності штампів, є знос, руйнування, а також зміна маси і габаритів виробу, при якій маса та розміри поковки поступово перевищують допустимі значення. Швидкість цих процесів залежить від теплостійкості використовуваних сталей. Стійкість до заклинювання і зносу визначається не лише високими показниками властивостей сталі, але і швидкістю їх зміни в процесі експлуатації.

Однією із основних причин виходу з ладу штампів для гарячого деформування сталей та сплавів є розвиток процесів термомеханічної втоми, що призводить до утворення решітки пожежних тріщин. Це погіршує якість поверхні заготовок, ускладнює їх виймання з матриці, сприяє зношуванню матриці та збільшує схильність до крихкого руйнування. Під час роботи, поверхневі шари пуансона піддаються впливу робочої напруги, яка зумовлює деформацію заготовки, а також відомої теплової напруги, породженої чергуванням процесів нагрівання та охолодження[5].

1.2 Штампові сталі та сплави високої теплостійкості для інструментів гарячого деформування металів

1.2.1 Серійні теплостійкі штампові сталі

Найпоширенішою категорією теплостійких штампових сталей є ті, які зміцнюються карбідами. Максимальна теплостійкість таких сталей може досягати 660–680 °С. Для цієї групи характерне використання легуючих елементів, таких як вольфрам або комбінація вольфраму та молібдену у кількості 3–6% (наприклад, 5Х3В3МФС (ДИ – 23), 4Х2В5МФ (ЭИ959)), або 8–10% у випадку сталей типу 3Х2В8Ф. Підвищення температури понад 680–690 °С призводить до різкого знеміцнення штампових сталей, таких як 5Х3В3МФС, що є характерною особливістю для сталей цієї категорії. Цей факт може свідчити про те, що для сталей на основі α -заліза з карбідним зміцненням максимальна температура експлуатації складає приблизно 690–700 °С [2].

Додаткове підвищення теплостійкості можливе за рахунок створення дисперсійно-твердіючих сталей, які містять в собі легувальні елементи, вміст яких сприяє протіканню процесу інтерметалідного або комплексного зміцненням. До цієї категорії матеріалів відносяться, наприклад, сталі 2Х6В8М2К8 (ЭП745), 3Х10В7М2К10 та Х2В6М6К12Н2. При такому підході ці сталі можуть тримати твердість на рівні HRC 38...40 при температурі 720...750 °С, при цьому забезпечуються високий рівень міцності при задовільній пластичності [4].

У випадку сталей, таких як 3Х2В8Ф та 5Х3В3МФС, основним джерелом зміцнення є карбіди M_6C та MC . Навпаки, у сталях 2Х6В8М2К8 (ЭП745) та 3Х10В7М2К10, міцність забезпечується завдяки карбідам типу M_2C та невеликій кількості інтерметалідів типу $(Fe,Co)_7W_6$.

Розглянуті раніше сталі піддаються термічній обробці для досягнення вторинної твердості, при цьому максимальне значення твердості досягається

при температурах відпуску в діапазоні 550–600 °С. Серед сталей, що зміцнюються карбідами, найвищу вторинну твердість (HRC 52–54) та теплостійкість можна спостерігати в сталі 5X3B3MΦC. Це пояснюється більшим насиченням аустеніту вуглецем та елементами, які утворюють карбіди, особливо ванадієм.

Також сталі 2X6B8M2K8 та 3X10B7M2K10 проявляють тенденцію до вторинного зміцнення під час відпуску. Це пояснюється, головним чином, виділенням карбідів типу M_2C , і вони досягають приблизно однакового максимального рівня твердості HRC 55...56. Теплостійкість цих сталей, особливо 2X6B8M2K8, значно перевищує теплостійкість сталі 3X2B8Φ (730 °С та 660 °С відповідно), що зумовлено більшим вмістом хрому та додаванням кобальту.

Карбід типу M_6C , який є зміцнювачем після відпалу сталі 2X6B8M2K8, має підвищений вміст хрому і легше розчиняється в аустенітній фазі під час нагрівання для гартування. Це дозволяє розчинити більше вольфраму, молібдену, хрому та вуглецю в твердому розчині. Після проведення процесу гартування, твердий розчин сталі 2X6B8M2K8 містить приблизно 8% вольфраму та молібдену, що перевищує відповідне значення (для вольфраму) в сталі 3X2B8Φ [1].

Максимальну теплостійкість до 750...760 °С, найвищу серед сталей на основі α -заліза, можна досягти за умови зміцнення інтерметалідами типу $(Fe,Co)_2W$ та $(Fe,Co)_7W_6$. Ці сполуки формуються при вищих температурах відпуску (600...650°C), порівняно з попередніми сплавами. Зазначені інтерметаліди відрізняються вищою стійкістю до коалесценції, порівняно з карбідами типу M_2C та MC . Таким чином, безвуглецева сталь, така як X2B6M6K12H2, може утримувати твердість на рівні HRC 40 після нагріву до 750°C. Збільшення вмісту кобальту до 15% позитивно впливає на вторинну твердість, підвищуючи значення твердості на 2–3 одиниці HRC та теплостійкість на 10–20°C, хоча при цьому спостерігається певне зниження в'язкості [6].

Збільшений вміст легувальних елементів у сталях 2X6B8M2K8 та 3X10B7M2K10, які включають кобальт, негативно впливає на ударну в'язкість та пластичність. Тому в процесі роботи інструментів, виготовлених з цих сталей, важливо уважно контролювати температури підігріву інструментів перед початком роботи, які не повинні перевищувати 500–600 °C [8].

Щодо сталей, які зміцнюються карбідами, рекомендується проводити два етапи відпуску, що сприятиме покращенню їх в'язкості. Температурний режим другого відпуску слід обирати на 30–40 °C нижче, а тривалість процесу має бути на 25–30% менше, ніж для першого відпуску. Для сталей 2X6B8M2K8 та 3X10B7M2K10 рекомендується проводити попередній відпуск при 340–360 °C тривалістю 1,5–2 години для виділення карбиду цементитного типу. Це сприяє більш рівномірному розподілу карбиду M_2C , що утворюється під час більш високотемпературного основного відпуску.

Однією з ключових особливостей сталей 2X6B8M2K8 та 3X10B7M2K10 є їх висока стійкість до утворення окалини. Ця властивість досягається завдяки підвищеному вмісту хрому, що підвищує стійкість до зношування при температурі експлуатації, що наближається до 700 °C [2].

Штампові сталі, котрі були розглянуті, є сталями на основі α -заліза з карбідним або інтерметалідним зміцненням. Вони не можуть забезпечити необхідний рівень властивостей при робочій температурі вище 730–750 °C. Міцність промислових високотеплостійких штампових сталей стрімко зменшується при температурах, що перевищують 750 °C, через збільшену швидкість дифузійних процесів, особливо наближаючись до критичної температури AC_1 . З цієї причини дана група сталей може бути ефективно використана для пресування при температурах, які не перевищують $(0,7–0,8)T_{\alpha \rightarrow \gamma}$. Оскільки наявність поліморфного перетворення є основним обмеженням для впровадження серійних високотеплостійких штампових сталей, більш ефективним вважається використання сталей та сплавів із гранецентрованою кристалічною ґраткою в якості інструментальних матеріалів для гарячого пресування [2].

1.2.2 Використання сталей та сплавів на основі ГЦК кристалічної ґратки із дисперсійним твердінням

Сталі з гранецентрованою кристалічною решіткою мають вищу щільність упаковки і, отже, значно нижчу дифузійну рухливість атомів, ніж сталі з об'ємноцентрованою кубічною решіткою. Як наслідок, вища термічна стабільність і нижчий коефіцієнт дифузії армуючої фази робить ГЦК решітку більш стійкою до термічного окрихчення, ніж ОЦК решітка, що призводить до покращення термічної стійкості.

Сплави, основані на кристалічній ґратці ГЦК, були розроблені з використанням діаграм Fe-Cr-Ni, Ni-Cr, Ni-Co-Cr. Порівняно з мартенситними сталями, вони виявляють підвищену жароміцність. Високий вміст хрому забезпечує необхідну міцність твердого розчину і стійкість до окислення при високих температурах. Вплив додаткових легуючих елементів на властивості сплавів на основі кристалічної ґратки ГЦК проявляється в зміцненні γ -твердого розчину, утворенні специфічних зміцнювальних фаз під час старіння, що виявляється підвищенням міжкристалітної міцності при робочих температурах. Зі збільшенням кількості зміцнювальної фази, що має когерентний зв'язок з матрицею або представлена у вигляді високодисперсних розділених фаз, властивості сплаву при високих температурах зростають і також залежать від його термічної стабільності [12].

Найбільш термостійкі сплави з ГЦК ґраткою - це сплави на основі заліза та нікелю, що мають посилений γ' -фазу, таку як $\text{Ni}_3(\text{Ti}, \text{Al})$ або $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$, з переважним вмістом алюмінію, або Ni_3Al та Ni_3Nb . Додавання молібдену та кобальту покращує пластичність і в'язкість сплавів з ГЦК ґраткою.

Зі збільшенням кількості компонентів, які формують γ' -фазу (наприклад, Al, Ti), і тих, що входять у склад твердого розчину (Mo, W та інші), або, іншими словами, із збільшенням кількості γ' -фази та підвищенням

температур, ми спостерігаємо збільшення міцності та границя тривалої міцності сплавів зростає. Підвищення температури та збільшення кількості γ' -фази викликає зміни механічних властивостей, і це підтверджується характерною зміною механічних властивостей в залежності від температури випробувань [12].

Серед сталей та сплавів на основі заліза та нікелю, які використовуються для обробки мідних сплавів, варто відзначити сталі 10X11H23T3MP EK28, та ХН35ВТЮ. Для цих матеріалів застосовується термічна обробка за таким режимом: нагрівання до 1170...1180 °С протягом 4 годин, охолодження на повітрі, а потім старіння при температурі 750–800 °С. Важливо відзначити, що сталь 10X11H23T3MP має довготривалу міцність при температурі 750 °С під навантаженням 300 МПа, у той час як сплави ХН35ВТЮ та EK28 досягає 350 МПа. Це визначає температурний діапазон роботи: до 750 °С для сталі 10X11H23T3MP і трошки вище – до 800 °С для сплавів EK28 та ХН35ВТЮ [13].

Відповідно до [15], сталі з дисперсійним твердінням на основі гранцентованої кубічної (ГЦК) ґратки перевершують серійні високотемпературні штампові сталі у 2-3 рази за показниками високотемпературної міцності (при температурі більше 750 °С) та у 5-7 разів за показником стійкості до зношення. Цей ефект пояснюється переважно тим, що серійні високотемпературні штампові сталі, такі як 3Х2В8Ф, 4Х4ВМФС, 4Х2В5МФ, відносяться до мартенситного класу. У зв'язку з цим, при досягненні робочої температури вище за A_{c1} , вони піддаються знеміцненню поверхні внаслідок поліморфних перетворень [3]. Натомість сплави, такі як EK28, ХН30ВМЮ, працюють при значно вищих температурах (більше 750 °С), оскільки вони відносяться до аустенітного класу (з ГЦК ґраткою). Це зумовлено відсутністю поліморфних перетворень у діапазоні робочих температур. У зв'язку з цим сплави на основі ГЦК ґратки знаходять застосування в інструменті для гарячого деформування не лише кольорових

металів (бронзи, латуні і міді), а й для титанових сплавів, і навіть у виробництві деяких виробів зі сталі.

1.2.3 Оцінка працездатності теплостійких штампових сталей за механічними властивостями

Робочі складові штампів піддаються впливу складної комбінації температурних і силових чинників під час експлуатації. Специфіка цього впливу обумовлена характером операції, конструктивними параметрами інструментів та обладнання, матеріалом, масою, конфігурацією виробів, які піддаються штампуванню, і іншими факторами [1]. Ці особливості, у свою чергу, мають ключовий вплив на комплекс властивостей штампових сталей, таких як міцність, в'язкість, зносостійкість, теплостійкість, опір втомі тощо, які вимагаються в різних умовах.

Деякі з цих характеристик, за збереження інших на мінімальному рівні, обмежують термін служби інструментів. Таким чином, ефективність використання вставок для гарячого штампування на молотах та кривошипних пресах для ковзання в першу чергу визначається їхньою стійкістю до розпалювання (здатністю витримувати термомеханічні навантаження), а для поковок з нержавіючих, жароміцних і інших спеціальних сталей – теплостійкістю і т.д. Зазвичай ці характеристики є комплексними і залежать від ряду механічних і теплофізичних властивостей штампових сталей. У зв'язку з цим точне методичне визначення є складною, але ще не повністю розв'язаною задачею [1].

Враховуючи це, можна визначити механічні характеристики як надійний, хоча не остаточний, критерій оцінки ефективності теплостійких штампових сталей. Твердість широко використовується як важливий показник при виборі оптимальних режимів відпалу, аустенітизації і відпуску, а також при

визначенні теплостійкості і т.д. В певних умовах (наприклад, гартування при температурах, що не призводять до істотного збільшення кількості залишкового аустеніту), абсолютні значення твердості визначаються вмістом вуглецю в твердому розчині. Проте при великих кількостях γ -фази (більше 10-20% для вуглецевих і низьколегованих сталей, і 25-50% для комплекснолегованих) ця залежність не виконується.

Це спостереження також стосується відпущеного стану через зміцнюючий вплив дрібнодисперсних виділених карбідів. Особливо помітно це стає після обробки "на вторинну твердість", що призводить до раптового збільшення опору деформації. Для оцінки цього важливого показника, крім твердості в сталях з однаковим вмістом залишкового аустеніту, можна використовувати визначення опору деформації за допомогою таких характеристик, як межа пружності і межа текучості при стисканні.

Однією з ключових механічних характеристик, яка має важливе значення, є межа плинності, що становить приблизно 700–750 МПа. Це визначення використовується як основний показник для оцінки стійкості матеріалу до пластичної деформації. Також розглядаються інші параметри, такі як твердість (в межах 38–45 HRC, залежно від призначення штампу) і мікротвердість, які служать показниками стійкості до зношення [1].

Дослідження, проведене в роботі [17], визначило, що ефективність штампового інструменту в значній мірі залежить від його ударної в'язкості. Автори пояснюють цю залежність прямою кореляцією між ударною в'язкістю і здатністю матеріалу опиратися утворенню тріщин.

Інший приклад використання механічних випробувань для оцінки ефективності теплостійких штамсів можна знайти в роботі [14]. Це дослідження дозволило встановити вплив легувальних елементів на працездатність матриці гарячого пресування. Дослідники виявили взаємозв'язок між вмістом легувальних елементів (зокрема, Al, W, Mo) і кількістю циклів пресування до руйнування матриці. Це дослідження

відзначається тим, що воно проводилося при різних температурах, і вплив легувальних елементів для кожного режиму був різним.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Характеристика обраного матеріалу

Для виготовлення матриці штампу для гарячого деформування матеріалів обрано сплав ЕК28, хімічний склад якого наведено у таблиці 2.1. Цей сплав на залізо-нікелевій основі, який відноситься до помірно дисперсійно-твердіючих, з інтерметалідним зміцненням

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сплаву ЕК28, % мас [3]

Марка сталі	Вміст елементів (% мас.) ГОСТ 5632										
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	W	S	P	Cu
ЕК28	0,12	0,6	1,0- 2,0	14,0- 16,0	34,0- 38,0	0,3	1,1- 1,5	2,3- 3,5	0,02	0,03	0,25

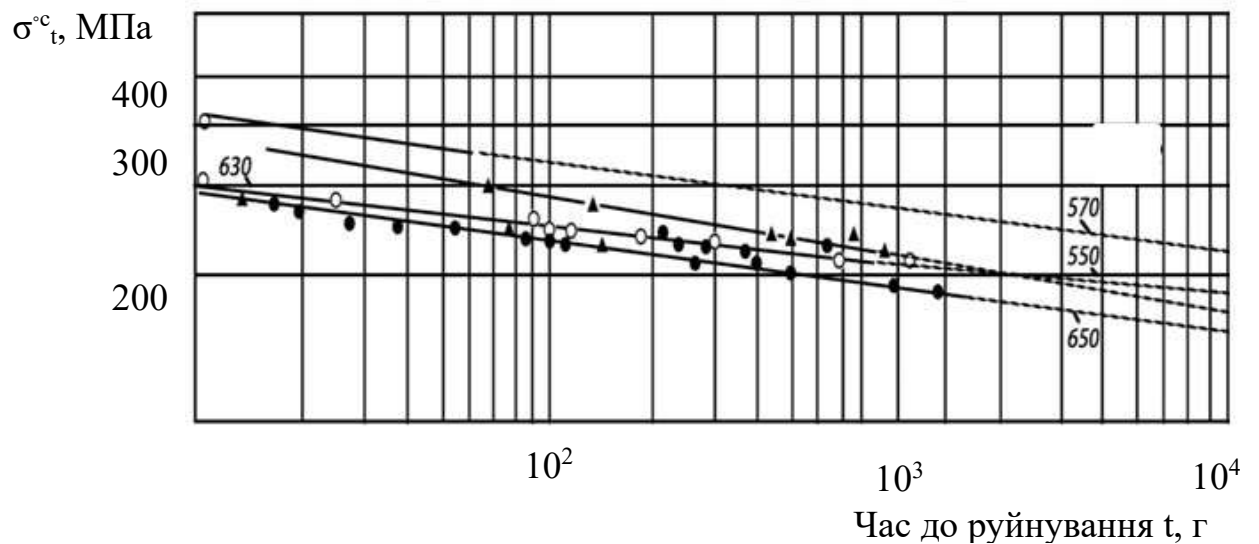
Характеристики довготривалої міцності наведені у таблиці 2.2. для рекомендованої термічної обробки, а саме: гартування при температурі 1180°C, тривалістю 1 година з наступним охолодженням у воді. Після цього проводиться подвійне старіння (перше при 780°C , тривалістю 8-10 годин , з охолодженням на повітрі та друге при температурі 730°C, тривалістю 25 годин, з охолодженням на повітрі), при різних температурах випробування.

Як видно з даних наведених в таблиці 2.2 сплав має високі механічні властивості та границю довготривалої міцності. Сплав зберігає властивості при високих температурах, тому температури експлуатації можуть сягати більше 700°C при довготривалій експлуатації [3].

Таблиця 2.2 – Границя довготривалої міцності для сплаву ЕК28

$T_{\text{випр.}}, ^\circ\text{C}$	σ_{1000}	σ_{10000}	σ_{100000}	$\sigma_{1/10^4}$	$\sigma_{1/10^5}$	$\sigma_{-1}, \text{МПа},$	
						10^7	10^8
500	—	450	360	—	—	—	—
525	—	400	330	—	—	—	—
550	—	390	320	—	—	—	—
600	320	260	210	—	180	—	—
630	250	210	180	—	150	—	—
650	220	200	160	170	130	300	230
700	—	140	100	110	80	—	—

На рисунку 2.1 зображено графік залежності довготривалої міцності сплаву ЕК28 від температури. Сплав не чутливий до надрізів.

Рисунок 2.1 – Залежність довготривалої міцності σ від температури

В умовах довготривалих випробувань сплав має гарні показники пластичності при розриві. Ці показники після 10000 годин випробувань сягають 5% при температурі 650°C та 1-1,5% при 600°C.

На рисунку 2.2 приведена залежність границі повзучості від напружень при різних температурах для сплаву ЕК28.

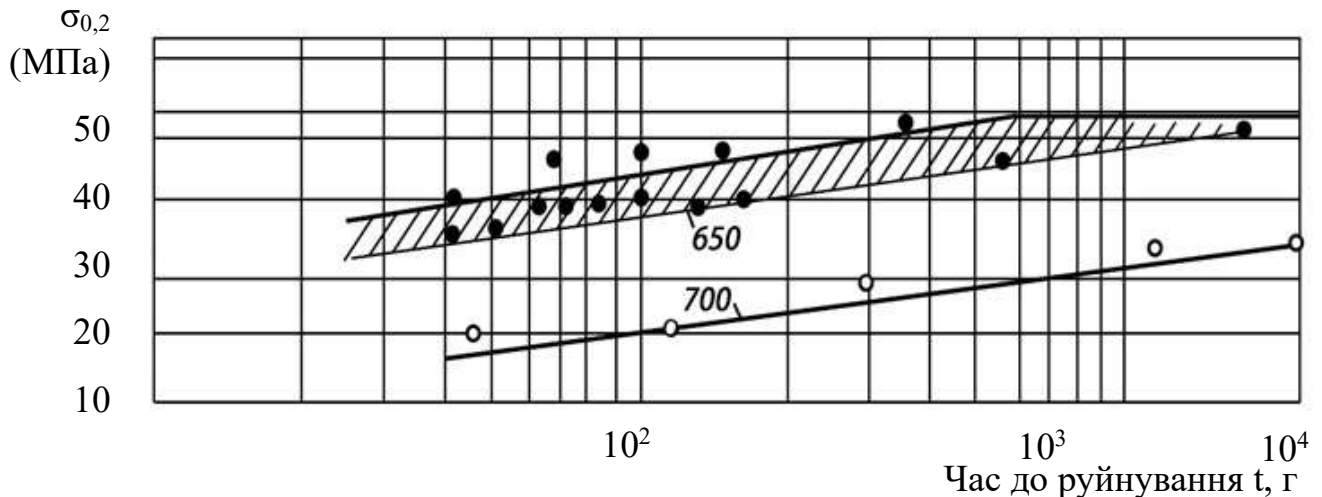


Рисунок 2.2 – Залежність границі повзучості від напружень в сплаві ЕК28

Як видно з наведеної діаграми, сплав проявляє високу стійкість до впливу високих температур, що є індикатором його високої жароміцності.

Додавання легуючих елементів до сплаву, у поєднанні з термічною обробкою, істотно підвищує його жароміцні характеристики. У жароміцних сплавах на основі заліза та нікелю структура включає твердий розчин - матрицю, яка може додатково містити вторинні зміцнювальні фази.

Вплив нікелю характеризується розширенням γ -області в системі залізо-хром. При збільшенні вмісту нікелю γ -область стає переважаючою, внаслідок чого жароміцність сплаву підвищується.

В сплаві, починаючи з 38% нікеля, зафіксовано константу швидкості окислення на мінімальному рівні. Це означає, що зі збільшенням вмісту нікелю зростає стійкість до окислення [13].

Нікель виступає як основний компонент у формуванні фази γ' $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$, яка виділяється під час старіння і є основою для зміцнення сплаву. Збільшення вмісту нікелю впливає на швидкість утворення γ' -фази та сприяє збільшенню її кількості. Сплав ЕК28, що містить близько 35% нікелю, проявляє високу міцність, особливо при температурі 600°C , де ці показники досягають максимального значення. Пластичність матеріалу також має задовільні характеристики. Висока кількість γ' -фази в сплаві забезпечує йому стійкість до швидкості охолодження під час гартування. Тобто, при охолодженні виробів різної маси та наступному старінні матеріал не втрачає своєї жароміцності.

Сплави на основі заліза та нікелю мають найбільшу схильність до твердіння за рахунок виділення дисперсійних фаз після гартування γ -твердого розчину при температурі вище 850°C . [5]

Введення хрому в сплав призводить до підвищення його стійкості до окислення при високих температурах. Це виражається у збільшенні енергії зв'язку атомів у кристалічній ґратці γ -твердого розчину, що в свою чергу підвищує жароміцні характеристики та температуру рекристалізації легованого аустеніту.

Хром формує карбіди з вуглецем, які, під час гартування та старіння, виділяються в γ -твердому розчині у високодисперсному стані, сприяючи зміцненню сплаву. Однак через тенденцію карбідів хрому до коагуляції, це зміцнення може зменшуватися при впливі високих температур.

Сплави на залізо-нікелевій основі виявляють високу схильність до утворення σ -фази, що ілюструється на діаграмі стану Ni-Cr-Fe (рис. 2.3).

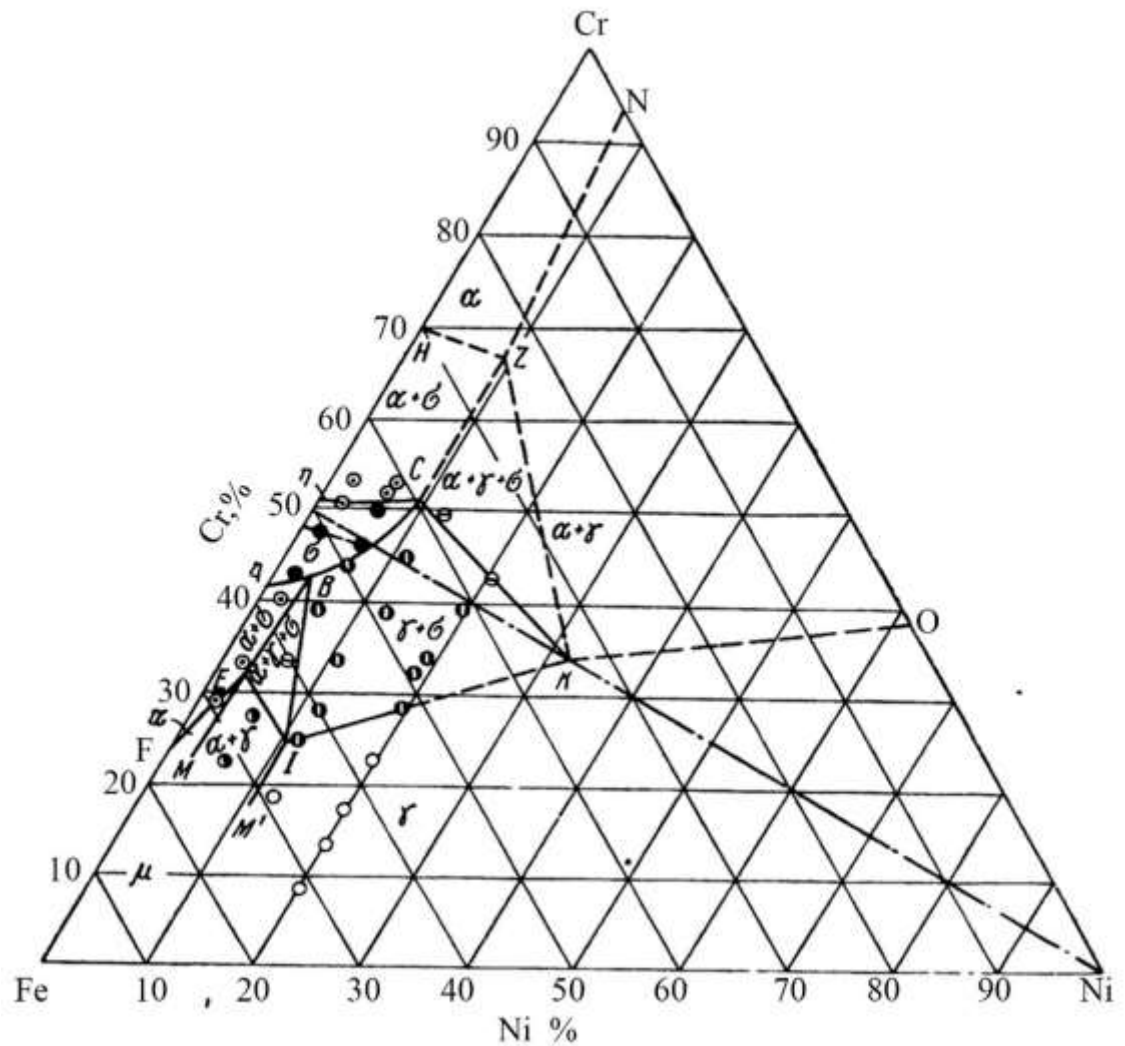


Рисунок 2.3 – Діаграма стану Ni-Cr-Fe при кімнатній температурі

Утворення σ -фази супроводжується вивільненням тепла, збільшенням об'єму і різким підвищенням твердості сплаву, що призводить до зниження її пластичності та особливо ударної в'язкості. Великі частинки σ -фази сприяють підвищенню довготривалої міцності. Опір повзучості може збільшуватись при короткочасних випробуваннях, але при тривалих випробуваннях він зменшується. Таким чином, для сплавів, призначених для довготривалої експлуатації, наявність σ -фази є особливо не вигідною. [5]

З метою запобігання утворенню σ -фази сплави повинні мати мінімальну кількість домішок. Виникненню σ -фази сприяють такі легувальні елементи, як вольфрам, титан і алюміній.

Додавання молібдену призводить до підвищення температури рекристалізації γ -твердого розчину та уповільнення процесу їх знеміцнення. Це ускладнює дифузійний обмін, рекристалізацію та коагуляцію дисперсних частинок. Крім того, молібден може утворювати фази типу Лавеса, наприклад, Fe_2Mo , що сприяє додатковому підвищенню жароміцності завдяки дисперсійному зміцненню [3].

Додавання вольфраму до сплаву є корисним, оскільки легування цим металом сприяє підвищенню температури рекристалізації та гальмує дифузійні процеси в області знеміцнення сплаву. Вольфрам утворює фази Лавеса, зокрема типу Fe_2W . З урахуванням тенденції вольфраму до нерівномірного розподілення та ліквації, його зазвичай вводять у сплав разом із молібденом для уникнення негативних моментів, пов'язаних з введенням у сплав вольфраму.

Як було вказано раніше, і вольфрам, і молібден входять до складу фаз Лавеса. На рисунку 2.4 можна спостерігати кінетику виділення фаз Лавеса в залежності від температури старіння [7].

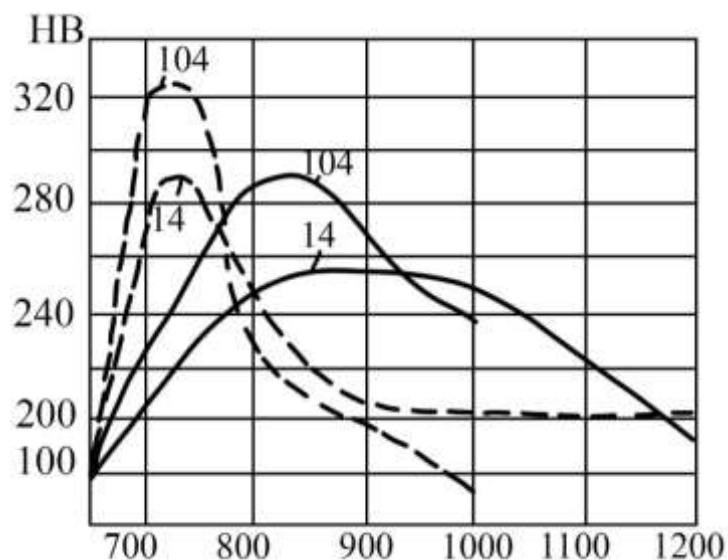


Рисунок 2.4 – Кінетика виділення фаз Лавеса

Склад цих фаз може змінюватися внаслідок легування, оскільки вони можуть розчиняти нікель. Це відображається у їхніх хімічних формулах: $(\text{Fe},$

$\text{Ni, Cr}_2\text{W}$ та $(\text{Fe, Ni, Cr})_2(\text{W, Mo})$. Фази відрізняються термічною стабільністю, причому фаза з вольфрамом проявляє більшу термічну стабільність, оскільки менше схильна до коагуляції та розчинення, ніж фаза з молібденом. Частинки Fe_2Mo починають розчинятися при температурах 900-950°C, тоді як частинки Fe_2W - при 1000-1050°C.

Завдяки наявності фаз Лавеса у сплавах, які зміцнюються γ' фазою, можна досягти високих показників жароміцності при необхідній пластичності, особливо в умовах тривалої експлуатації (від 10000 до 50000 годин) [9].

Вуглець використовується для формування первинних карбідів типу MC, які запобігають надмірному росту зерен під час термічної обробки, а також для створення карбідів, що мають сприятливу морфологію на межах зерен. Зазвичай до складу первинних карбідів входить титан, але іноді може бути присутнім молібден.

Вуглець майже не впливає на жароміцність, якщо він розчинений у основній масі. Однак, якщо він утворює карбіди, то вуглець зменшує жароміцність з двох основних причин:

- через те, що він зв'язує значну кількість легувального елемента, викликаючи збіднення основної маси.
- через те, що наявність карбідної фази робить структуру неоднорідною .

Титан виявляється ефективним зміцнювачем, як видно з рисунку 2.5, оскільки під час старіння він утворює γ' -фазу Ni_3Ti разом із нікелем. Ця фаза суттєво підвищує твердість, характеристики міцності та жароміцності завдяки ефекту дисперсійного зміцнення [12].

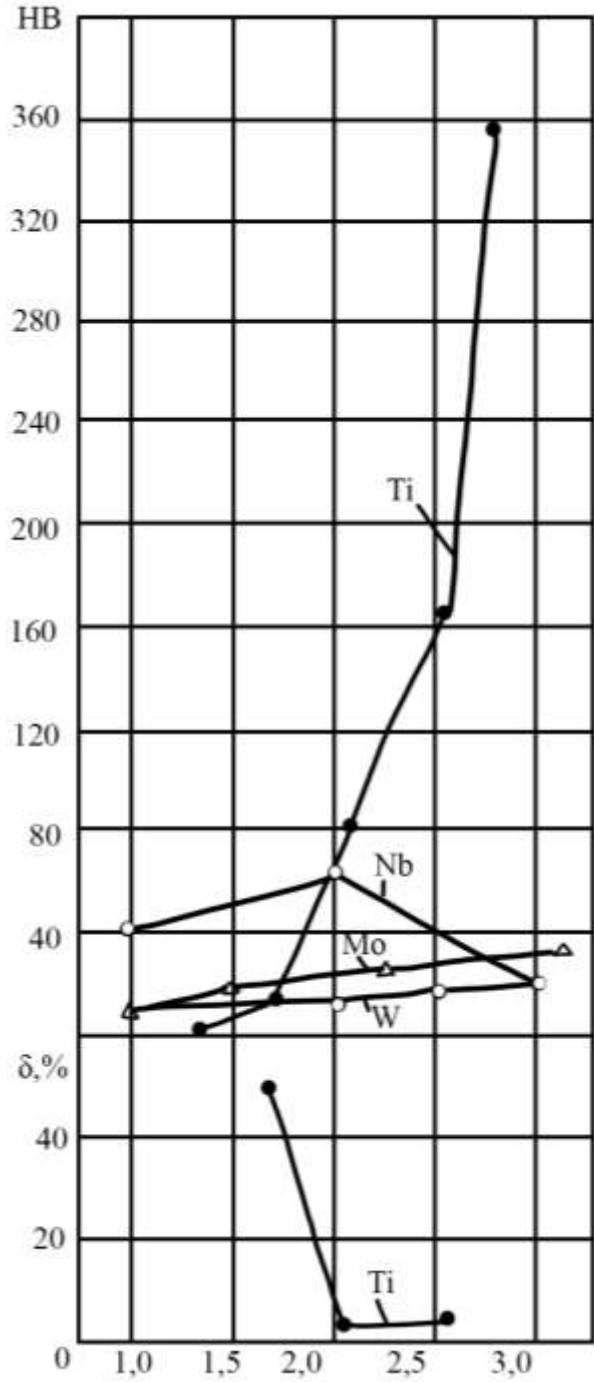


Рисунок 2.5 – Вплив легувальних елементів на властивості сплавів після старіння при 700⁰С 16 год

Термічна обробка сталі ЕК28 включає процеси гартування та подвійного старіння. Проведені металографічні дослідження сплавів при різних температурах гартування призвели до таких висновків: після гартування при температурах від 1000 до 1180⁰С сплав має типову структуру

аустеніту з різноманітними розмірами зерен, що залежать від температури попередньої обробки.

Розподіл легувальних елементів між металами та карбідними фазами визначається станом розчину перед старінням, а саме температурою нагріву сплаву під час гартування та швидкістю охолодження. На рисунку 2.6 показано вплив температури гартування на механічні властивості, а на рис. 2.7 наведено вплив середовища охолодження на властивості сплаву.

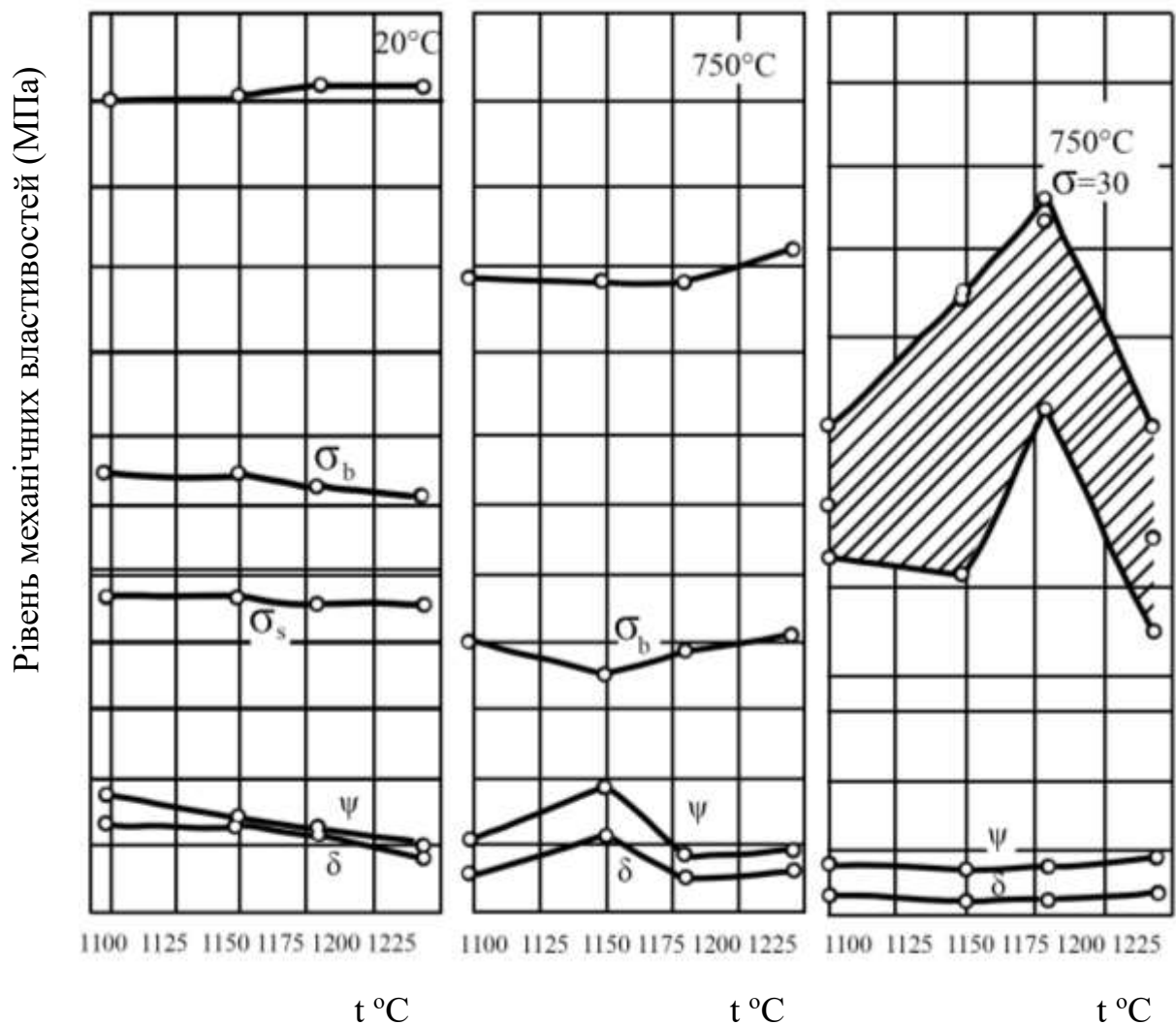


Рисунок 2.6 – Вплив температури гартування на зміну механічних властивостей та на довготривалу міцність. Охолодження від температури гартування на повітрі [14]

Найкращі властивості сплаву проявляються при температурі гартування 1180°C. Однак охолодження від таких температур на повітрі не дозволить досягти високих жароміцних характеристик, і для цього потрібне більш швидке охолодження, наприклад, використання оливи. Охолодження водою деталей складної конфігурації може призвести до виникнення значних напружень та мікронадривів, а під час старіння - до появи тріщин.



Рисунок 2.7 – Механічні властивості та довготривалу міцність в залежності від швидкості охолодження при гартуванні 1180°C [14]

Рекомендована зміцнювальна термічна обробка сплаву полягає в гартуванні від температури 1250 °C (витримка 2 години) в маслі та наступного старіння 800 °C, 20 годин. В загартованому стані сплав має твердість близько 86 HRB (тобто нижче мінімальних значень вимірювань за шкалою HRC). Після подальшого старіння твердість зростає до 22 HRC (більше 100 HRB), а механічні властивості при температурі 750 °C становлять (середні значення): границя текучості 200 МПа, границя міцності 370 МПа, відносне подовження 29 %, відносне звуження 42 %, ударна в'язкість 43 Дж/см². Хоча за твердістю сплав суттєво поступається найбільш теплостійким серійним штамповим сталям типу 5Х3В3МФС(ДИ23), проте

при температурах вище 750 °C він має значно (в 1,5–2 рази) більші значення характеристик міцності, що і забезпечує йому суттєво кращу працездатність і, відповідно, економічну доцільність використання при високотемпературних умовах експлуатації.

Основною метою процесу старіння є досягнення ефективного зміцнення шляхом виділення частинок фази γ . Сплави з використанням інтерметалідного зміцнення відзначаються меншою температурою розчинення фази, зокрема γ , та меншою тенденцією до коагуляції цих фаз. Подвійне старіння забезпечує оптимальне поєднання міцності та пластичності, особливо в умовах повзучості при температурах 650-750°C. Цього досягають завдяки тому, що під час першого етапу старіння утворюються більші частинки дисперсійного матеріалу за рахунок механізму огинання, що призводить до зміцнення. У другому етапі старіння формуються частинки меншого розміру, і відбувається зміцнення за рахунок механізму перерізання. Таким чином, подвійне старіння використовує два різні механізми зміцнення. Протягом процесу старіння важливо досягти сприятливого розподілу карбідів вздовж меж зерен.

Водночас резерв працездатності сплаву, на наш погляд, використано не повно і полягає в удосконаленні його термічної обробки для підвищення характеристик міцності.

2.2 Методи дослідження матеріалів

2.2.1 Макроскопічний метод дослідження

Макроструктурний метод дослідження (макроаналіз) — це вивчення структури металів і сплавів неозброєним оком, а також за допомогою оптичних приладів (лупи, мікроскопа тощо), які дозволяють отримати збільшення до 30 разів. Структура металів, що вивчається за допомогою

макроаналізу, називається макроструктурою. Макроаналіз проводиться в один або два етапи.

Перший етап — це дослідження поверхні металу без його руйнування, а також дослідження зруйнованого місця деталі після її руйнування, що називається злом. На цьому етапі макроаналізу визначають наявність і поширення тріщин, виливкових або зварних порожнин та інших дефектів металу.

Другий етап передбачає спеціальну підготовку поверхні металевого виробу шляхом шліфування обраної для огляду ділянки металу з подальшим травленням цієї ділянки спеціальними реагентами. Відшліфований і витравлений ділянку металевої поверхні називають макрорізом.

Макроаналіз часто використовується для вивчення властивостей таких металів. Визначення хімічної неоднорідності сплаву. Наприклад, для забезпечення необхідної пружності деталей, що працюють у напружених умовах (валів, 8-осей, зубців шестерень тощо), ці деталі повинні мати м'який сердечник і тверду поверхню певної глибини. Для цього деталі піддають цементуванню, тобто насичення поверхневого шару вуглецем, а потім загартовують термічною обробкою. Для визначення глибини затверділого шару необхідно зробити макророзріз на ділянці поперечного перерізу деталі.

Під час травлення макророзрізу ділянки високовуглецевого металу стають чорними порівняно з серцевиною деталі.

2.2.2 Мікроскопічний метод дослідження

Метод мікроаналізу, або метод дослідження мікроструктури, полягає в аналізі структури металів і сплавів за допомогою мікроскопа, використовуючи спеціально підготовлені зразки. Структура металів, яка досліджується за допомогою мікроаналізу, отримує назву мікроструктури.

Цей метод дозволяє вивчати структуру металів і сплавів після різних видів обробки (таких як деформація чи термічна обробка) і визначати форму, розміри та розташування різних елементів цієї структури, які називаються структурними компонентами, такими як зерна, включення різних видів та інші.

Мікрозріз - це зразок металу, спеціально підготовлений для мікроаналізу. Процес створення мікрозрізу включає етапи різання, шліфування та полірування зразка до того моменту, поки обрана для дослідження поверхня не набуває високого рівня полірування. Для визначення мікроструктури мікрозрізу використовують спеціальні реагенти, як, наприклад, 4% розчин азотної кислоти (HNO_3) у спирті або воді, особливо популярний для обробки сталі.

Для проведення мікроаналізу використовують металографічні мікроскопи, такі як ММУЗ, МІМ-6 та МІМ-8. Робота цих мікроскопів базується на принципі відбиття світла від поверхні мікрозрізу, що дозволяє досліджувати структуру непрозорих об'єктів, таких як метали, пластмаси, металокераміка та інше.

У випадку, коли мікрозріз має дзеркальну поверхню, світло, яке освітлює поверхню зразка, відбивається від неї і досягає дослідника. Останній спостерігає лише плоску поверхню зразка, не можучи вбачити металеву структуру, що знаходиться під нею. Для визначення структури металу проводять аналіз саме поверхні дзеркала, використовуючи описаний раніше метод. Це викликає різну обробку різних частин поверхні: деякі області розсмоктуються інтенсивно, інші менш інтенсивно, а деякі залишаються нерозсмокнутими.

Такий процес формує рельєф на поверхні зразка, який точно відтворює структуру металу.

2.2.3 Механічні випробування

Для вивчення твердості досліджених сплавів при кімнатній температурі застосовувався метод Роквелла. При значенні твердості менше 20 HRC використовувалася шкала С (з алмазним конусом), а при переході до шкали В (зі сталеною кулькою). Попередньо було встановлено, що для аустенітних сплавів відповідність між твердостями 20 HRC та 100 HRB зафіксована при переході від однієї шкали до іншої. Це також співпадає із конвертацією числових значень твердості.

При експозиції з підвищеними температурами (750–1000 °С) визначали твердість за методом Брінелля на спеціальній установці "Amsler". В якості індикатора використовувався алундовий наконечник з радіусом закруглення 2,5 мм. Навантаження становило 250 МПа. Перед застосуванням навантаження наконечник із зразком піддавали прогріванню до температури випробування. Час утримання під навантаженням становив 30 секунд.

Випробування на розтяг проводились на розривній машини ЦД-10. Зразки заданого діаметру робочої частини 5 мм і розраховану довжину 25 мм при загальній довжині 75 мм. Визначення ударної в'язкості проводили на зразках з надрізом радіусом 1 мм. Температурний діапазон випробувань на розтяг і ударний згин охоплював значення від 20 до 950 °С.

Вимірювання ударної в'язкості проводили на зразках Менаже з надрізом радіусом 1 мм. Випробування на ударний згин виконувались на маятниковому копрі.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Технологія термічної обробки – складова частина технологічного процесу виготовлення виробу, яка забезпечує отримання необхідної структури, механічних та експлуатаційних властивостей, якості цього виробу.

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

Нижче буде оглянуто рекомендовану термічну обробку для обраного сплаву. На рисунку 3.1. наведений графік термічної обробки матриці штампуги зі сплаву ЕК28.

Температура гартування обирається 1080- 1100°C, з наступним охолодженням у аргоні; для першого старіння обирається температура 700°C, з послідовним охолодженням в аргоні. Процес гартування відбувається у вакуумній печі СНВ 6.6.4/13 (С – електрична, Н – камерна, В – вакуумне середовище (контрольоване), з довжиною 600 мм, шириною 600мм, висотою 400мм робочого простору з максимальною температурою нагріву до 1300) для забезпечення захисту виробів із сплаву ЕК28 від окислення.

Час необхідний для нагріву садки становить близько 55 хв. Витримка при температурі гартування, для рівномірного прогріву деталей в садці складає 1-1,5 години. Цього часу вистачить для протікання усіх дифузійних процесів що відбуваються всередині матеріалу. Охолодження виробів проводиться в захисному середовищі інертного газу – аргону. Швидкість охолодження в аргоні становить 70 °C/хв. Час, що буде витрачений на охолодження становить 15 хвилин. Таким чином загальний час гартування складає 2,1 годину.

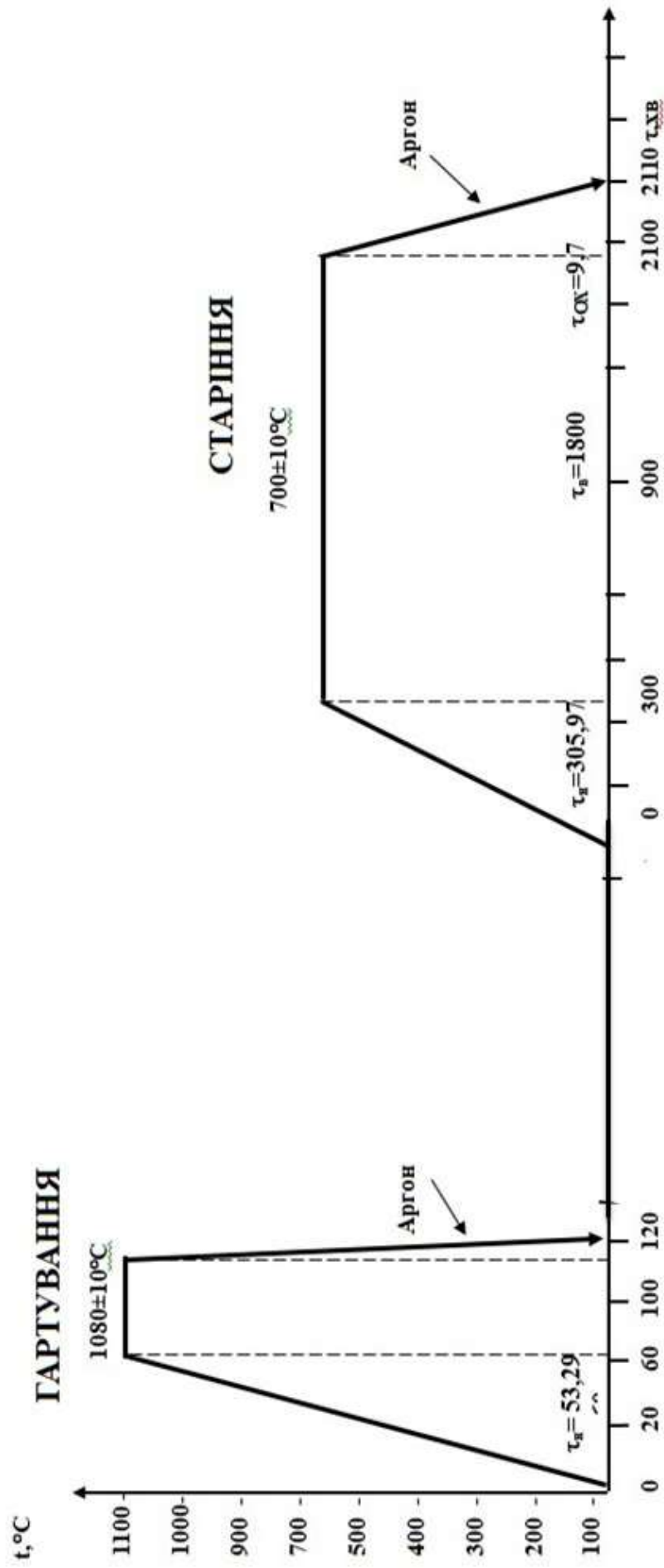
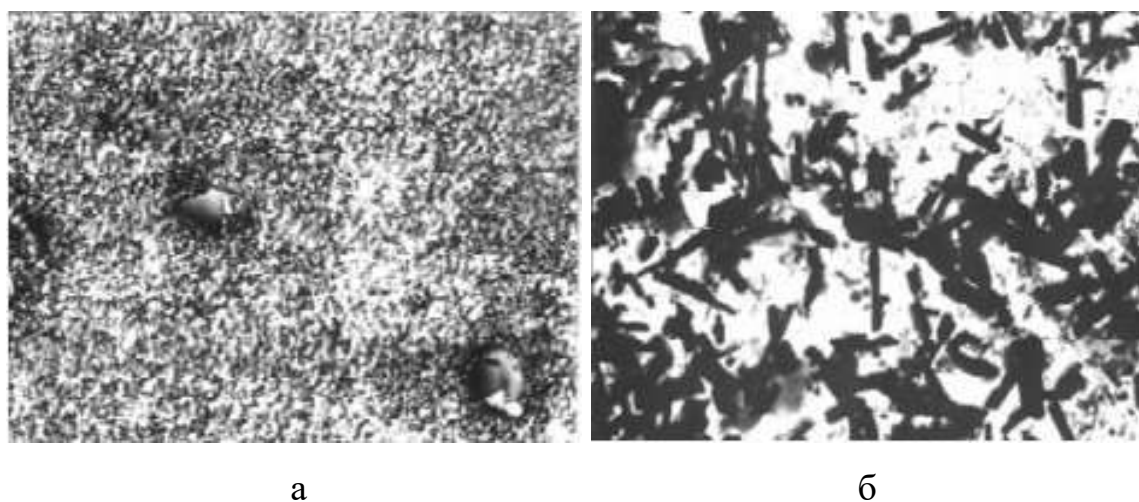


Рисунок 3.1 – Графік базової термічної обробки матриці штампів зі сплаву ЕК28

Наступним етапом термічної обробки є процес старіння. Старіння - це термічна обробка сплавів, що зумовлює процеси розпаду пересиченого металу після гартування. Метою цього виду термічної обробки є виділення дисперсних частинок зміцнювальних фаз з пересиченого твердого розчину (дисперсійне твердіння). Для жароміцного сплаву на залізо-нікелевій основі характерним є одинарне старіння, яке проводиться при температурі $700\text{ }^{\circ}\text{C}$. Час нагрівання становить 306 хв. Час витримки також обирається з довідникових даних і становить 30 годин (1800 хв.). Охолодження після старіння відбувається в аргоні, швидкість охолодження при цьому складає $70\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{хв}$, звідси час затрачений на охолодження складає 9,7 хв.

Старіння проводяться в печах з вакуумним середовищем робочого простору. На рисунку 3.2 зображено структуру отриману після наведеного режиму ТО.



а – $\times 500$; б – $\times 10000$

Рисунок 3.2 - Мікроструктура сплаву EK28 після гартуванні та подальшого старіння

Реалізація рекомендованого режиму ТО забезпечила сплаву твердість 22 HRC і такі механічні властивості при температурі $750\text{ }^{\circ}\text{C}$: границя

текучості 204 МПа, границя міцності 370 МПа, відносне подовження 32 %, відносне звуження 44 %, ударна в'язкість 42 Дж/см².

Далі буде розглянуто режим термічної обробки, котрий буде більш оптимальним ніж рекомендований саме для виготовлення штампового інструменту виготовленого із сплаву ЕК28.

Режим гартування в даному випадку являє собою нагрівання в середовищі захисного газу до температури 1250 °С, з витримкою 2 години, з наступним охолодженням в маслі. Наступним етапом є режим сходиноквого старіння за схемою НТ старіння з наступним ВТ старінням. Температура першої сходинокки (НТ) старіння становить 710 °С, витримка становить 30 годин. Друга сходинокка (ВТ) проводиться при температурі 770 °С, з витримкою 20 годин. Графік рекомендованої ТО наведено на рисунку 3.4.

Реалізація вказаного режиму ТО забезпечила сплаву твердість 29 HRC і такі механічні властивості при температурі 750 °С: границя текучості 284 МПа, границя міцності 419 МПа, відносне подовження 32 %, відносне звуження 44 %, ударна в'язкість 42 Дж/см². Тобто порівняно зі звичайним режимом старінням досягнуто зростання твердості на 7 одиниць HRC, границі текучості на 80 МПа та границі міцності на 50 МПа без зменшення характеристик пластичності та ударної в'язкості [16].

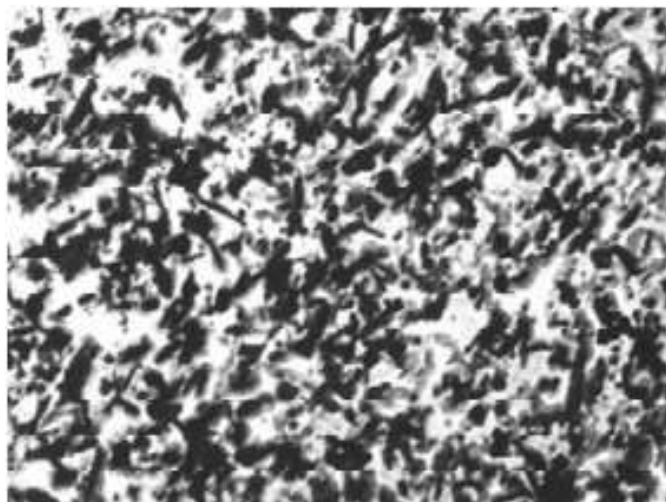


Рисунок 3.3 - Мікроструктура сплаву після гартування та сходиноквого старіння

З мікроструктури, наведеної на рисунку 3.3 видно, що використання вказаного сходиноквого старіння обумовлює більшу дисперсність, отже, і кількість частинок зміцнювальних фаз, порівняно з попередньо рекомендованим режимом старіння. Зокрема, помітно (в 2 рази) зменшилась довжина стрижнеподібних частинок фази Лавеса типу $\text{Fe}_2(\text{W}, \text{Mo})$, яка після одинарного старіння досягала 103 нм. Така зміна характеру дисперсійного твердіння і забезпечує кращий комплекс властивостей сплаву після сходиноквого старіння [16].

Електронно-мікроскопічне дослідження мікроструктури показало, що після одинарного старіння середній розмір частинок складав близько 20 нм, то після сходиноквого старіння розмір зміцнювальної фази становив 12 нм.

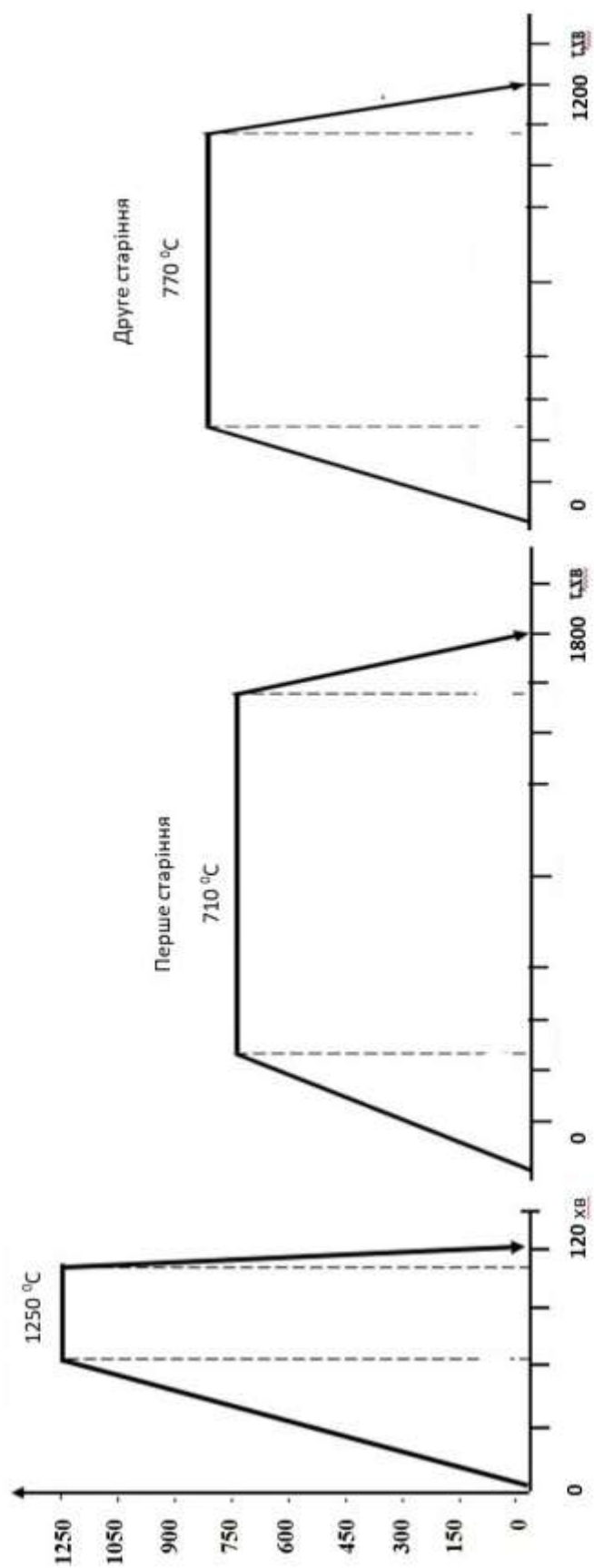


Рисунок 3.4 – Графік рекомендованої термічної обробки матриці штампів зі сплаву ЕК28

В таблиці 3.1 наведено порівняння механічних властивостей пресового інструменту виготовленого зі сплаву ЕК28, але термічно оброблених за різними режимами.

Таблиця 3.1 Зміна механічних властивостей сплаву ЕК28 після сходинкового старіння

Режим старіння	HRC	Температура випробувань 750 °С				
		$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, Дж/см ²
700 °С, 10 годин (одинарний)	22	204	370	33	44	41
710 °С, 5 годин + 770 °С, 2 години	29	284	419	32	44	42

Після сходинкового старіння досягається більш дисперсний розподіл частинок зміцнювальної фази, що зображено на рисунку 3.5. Вказані особливості виділення частинок зміцнювальної γ' -фази типу $\text{Ni}_3(\text{Ti}, \text{Al})$ у випадку сходинкового старіння і обумовлюють більш високі значення механічних властивостей дослідженого сплаву [16].

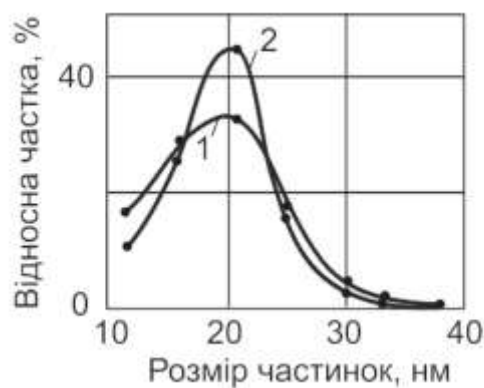


Рисунок 3.5 Розподіл за розміром частинок γ' -фази типу $\text{Ni}_3(\text{Ti}, \text{Al})$ після одинарного (крива 1) та сходинкового (крива 2) старіння

Кращий комплекс властивостей сплаву після сходинкового старіння забезпечується більшою дисперсністю, а отже, і кількістю частинок зміцнювальних фаз, зокрема фази фази Лавеса типу $\text{Fe}_2(\text{W}, \text{Mo})$, порівняно з одинарним старінням [16].

Після кожного з етапів термічної обробки проводиться технічний контроль виробів, а також попередження та виправлення утворених дефектів. Висока якість продукції забезпечується вірно проведеним вхідним, між операційним та завершальним контролем.

Оцінка вхідного контролю включає перевірку матеріалів, що використовуються для виготовлення матриць штампів та хімічних речовин. Суворе виконання цього етапу гарантує відсутність низькоякісної продукції на виробництві. Під час вхідного контролю аналізується хімічний склад матеріалу для виробів, його відповідність робочому кресленню, а також виявлення внутрішніх і зовнішніх дефектів щодо форми та розмірів.

Контроль міжопераційних технологічних процесів термічної обробки включає перевірку готовності термічного обладнання та його оснащення для проведення обробки. Це включає вимірювання, регулювання та запис робочих температур автоматичними терморегуляторами у печах з визначеною точністю. Також важливо точно виконувати витримки під час операцій нагріву та охолодження штампів.

При проведенні поточного контролю враховуються всі параметри операцій, такі як температура, час, схема садки, витрати середовища, тиск, температура середовища при охолодженні, а також структура та властивості виробів після завершення операцій.

Вихідна операція є обов'язковою, оскільки після термічної обробки необхідно провести механічну обробку та складальні операції. Зокрема, вироби повинні мати необхідні структури та властивості для подальшого використання.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Тенденції розвитку світового ринку технологій

Розвиток промисловості вимагає підвищення ефективності технологій виробництва. Важливим етапом у металургійній сфері є виготовлення продукції за допомогою методів пластичного деформування. Останнім часом у цій галузі майже не виникало нових концепцій виробничого обладнання, і інструменти залишаються практично незмінними. Таким чином, перспективним шляхом для підвищення ефективності виробництва є розробка нових матеріалів для створення інноваційного інструменту.

Зменшення витрат на виробництво продукції визначається як значущий фактор для збільшення прибутків. Подовження терміну служби пресувального інструменту може стати ефективним рішенням для досягнення цієї мети. Сплави, які застосовуються для створення матриць для пресів гарячого штампування, мають необхідні механічні властивості. Однак через технічну складність їх виготовлення ці матеріали мають досить високу вартість. Тому одним із шляхів подовження строку експлуатації штампового інструменту є використання жароміцних сплавів з необхідними характеристиками, тому заміна звичних матеріалів для матриць штампів на жароміцні сплави є актуальною.

Передовими країнами що використовують у своєму виробництві методи гарячого пресування є Китай, Японія, Німеччина, Росія, Італія, Франція, Україна. Серед країн, що розвиваються - Індія, Бразилія, Мексика, Південна Корея та ін.

В таблиці 4.1 викладене уявлення про зміст ідеї та потенційні ринки, в межах яких можуть бути знайдені майбутні клієнти.

Таблиця 4.1 – Опис основної ідеї дипломного проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувачів
Основна ідея проекту полягає в збільшенні строку експлуатації штампового інструменту (матриць, вставок та ін.) за рахунок використання іншого сплаву замість звичних матеріалів	Виробництво деталей методами гарячого штампування.	Збільшення довговічності
		Зменшення витрат ресурсів за рахунок підвищення терміну
		Підвищення механічних властивостей

В таблиці 4.2 викладені результати попереднього аналізу характеристик потенційного ринку

	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Головні конкуренти	Головними конкурентами гарячого штампування є альтернативні методи виготовлення деталей, такі як лиття, кування, фрезерування та інші.
2	Динаміка ринку	Щорічне збільшення обсягів виробництва, отриманого шляхом штампування, свідчить про позитивний розвиток ринку, тобто його постійне зростання.

Кінець таблиці 4.2

3	Наявність обмежень для входу	Основними обмежуючими факторами для входу на ринок є: - Фінансові обмеження, пов'язані з необхідністю вкладення коштів у придбання обладнання та інших витрат. - Матеріальні обмеження, включаючи потребу у високоякісних вихідних матеріалах (сировині). - Кадрові обмеження, пов'язані з необхідністю наявності кваліфікованих спеціалістів, які зможуть забезпечити високий рівень виробничого процесу.
4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Обладнання, призначене для використання на виробництві, повинно пройти сертифікацію. Крім того, робочі місця повинні відповідати вимогам техніки безпеки та охорони праці. Вироблені продукти повинні відповідати встановленим вимогам.

Карта стейколдерів - це інструмент, що допомагає визначити, як лідер компанії чи проекту може впливати на зацікавлені сторони. Можлива карта зацікавлених сторін для даного дипломного проекту наведено на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 – Карта стейкхолдерів

При складанні карт зацікавлених сторін важливим аспектом є включення всіх відносин, за допомогою яких компанія може впливати на інших людей чи компанії, або, навпаки, як люди можуть впливати на підприємство та його діяльність.

4.2 Техніко-економічні розрахунки

Метою цього розділу є економічне обґрунтування необхідності використання жароміцного сплаву ЕК28 замість звичних матеріалів для виготовлення інструменту для гарячого штампування. У таблиці 4.3 подані техніко-економічні характеристики виробів.

Вартість сировини та основних матеріалів розраховується на основі обґрунтованих технічних норм використання на виробництво одиниці

продукції, а також цін відповідних видів матеріальних ресурсів, з урахуванням транспортно-заготівельних витрат. При цьому витрати на сировину та матеріали зменшуються на величину відходів, які утворюються під час виробництва.

Таблиця 4.3 - Техніко-економічні показники виробів

Найменування виробу	Базовий матеріал	Запропонований матеріал
1. Матриця для гарячого штампування	Сталі типу 4X2B5МФ	Теплостійкий сплав з ГЦК граткою ЕК28 для штампів гарячого деформування матеріалів
2. Програма випуску, шт	500	500

Вартість сировини та основних матеріалів наведена в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Вартість сировини для виготовлення матриці для штампів гарячого пресування із сплаву ЕК28.

Найменування сировинного матеріалу	Норма використання, кг	Ціна, Грн./кг	Вартість, грн
Залізорудний концентрат	1,605	3	4,815
Хром чушковий	0,5	500	250
Ніобій чушковий	0,080	700	56

Кінець таблиці 4.4.

Молібден чушковий	0,045	820	36,9
Нікель чушковий	1,43	900	1287
Титан чушковий	0,09	560	50,4
Алюміній чушковий	0,09	140	12,6
Вольфрам чушковий	0,156	1200	187,2
Вуглецева лігатура (Графіт)	0,002	53	0,106
Разом			1885

Вартість придбаних комплектуючих для виробів визначається за допомогою норм використання і цін, враховуючи транспортно-заготівельні витрати.

Основна заробітна плата виробничих працівників за одиницю виробу обчислюється на основі трудомісткості виготовлення та часових тарифних ставок. Розрахунок основної заробітної плати на одиницю продукції наведений в таблиці 4.5

Таблиця 4.5 – Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка)

Найменування операції	Норма часу, годин	Розряд робіт	Часова Тарифна ставка, грн.	Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка), грн.
Відливка заготовки	2	V	120	240
Термічна обробка	52	V	100	5200

Кінець таблиці 4.5.

Механічна обробка	0,5	V	110	55
Полірування та шліфування	0,5	V	110	55
Сума				5550

Додаткова заробітна плата для робітників виплачується в залежності від обсягу та якості виконаної роботи. Вона включає у себе різні доплати та надбавки, премії за результатами виробництва, виплати за чергові та додаткові відпустки та інші винагороди. Розмір додаткової винагороди становить 40% від основної і розраховується за визначеною формулою.

$$ЗД = 30 * \frac{КД}{100}, \text{ грн} \quad (4.1)$$

де КД – процент додаткової заробітної плати.

$$ЗД = 5550 * \frac{40}{100} = 2220 \text{ грн}$$

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

$$ВС = (30 + ЗД + ПП) * \frac{К_{ВС}}{100}, \text{ грн} \quad (4.2)$$

де ПП – премії з прибутку, грн;

$К_{ВС}$ – % відрахування на соціальні заходи.

$$BC = (5550 + 2220 + 50) * \frac{22}{100} = 1720,4 \text{ грн}$$

Загальновиробничі витрати включають в себе витрати, пов'язані з утриманням та експлуатацією обладнання, цехові витрати і послуги виробничого характеру. Витрати на утримання та експлуатацію обладнання охоплюють витрати на технічне обслуговування машин і механізмів, витрати на поточний ремонт обладнання, цехового транспорту та інструментів, а також включають витрати на знос малоцінних і швидкозношуваних приладів, оплату праці допоміжного персоналу та інші витрати. Цехові витрати враховують витрати, пов'язані з поточним ремонтом та амортизацією будівель цеху, оплату праці керівників і спеціалістів цеху, витрати на охорону праці та техніку безпеки в цеху та інші подібні витрати.

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

$$ЗВВ = ЗО * \frac{\alpha}{100}, \text{ грн.} \quad (4.3)$$

де α - % загально виробничих витрат

$$ЗВВ = 5550 * \frac{400}{100} = 22200 \text{ грн}$$

Вищенаведені витрати складають виробничу собівартість.

Адміністративні витрати включають в себе витрати, пов'язані з утриманням адміністративно-управлінського персоналу підприємства, а також з утриманням та експлуатацією основних засобів загального виробничого призначення, охороною праці та технікою безпеки персоналу та іншими подібними витратами. Адміністративні витрати в середньому

становлять 300% від основної заробітної плати основних виробничих робітників і розраховуються за визначеною формулою.

$$AB = 30 * \frac{\beta}{100}, \text{ грн} \quad (4.4)$$

де β - % адміністративних витрат.

$$AB = 5550 * \frac{300}{100} = 16650 \text{ грн}$$

Витрати на збут включають у себе витрати, пов'язані з реалізацією продукції, що охоплюють витрати на упаковку та тарні матеріали, транспортування готової продукції, рекламу, а також витрати на маркетингові дослідження та інші аспекти. Витрати на збут становлять 2% від виробничої собівартості і розраховуються за формулою

$$B3 = C_v * \frac{\gamma}{100}, \text{ грн} \quad (4.5)$$

де C_v – собівартість виробнича, грн;

γ - % витрат на збут .

$$B3 = 26140,4 * \frac{2}{100} = 522,8 \text{ грн}$$

Прибуток складає 15 % від повної собівартості і розраховується за формулою

$$\Pi = C * \frac{P}{100}, \text{ грн.} \quad (4.6)$$

де P – рентабельність виробу, %

$$\Pi = 43313,2 * \frac{15}{100} = 6497 \text{ грн}$$

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

$$\text{ПДВ} = Ц * \frac{H_{\text{ПДВ}}}{100}, \text{ грн.} \quad (4.7)$$

де $H_{\text{ПДВ}}$ – норматив податку на додану вартість, %.

$$\text{ПДВ} = 49810,2 * \frac{20}{100} = 9962,04 \text{ грн}$$

Ціна продажу виробу розраховується за формулою

$$Ц_{\text{пр}} = Ц + \text{ПДВ}, \text{ грн.} \quad (4.8)$$

$$Ц_{\text{пр}} = 49810,2 + 9962,04 = 59772,24 \text{ грн.}$$

Калькуляція собівартості і ціни продукції наведена в таблиці 4.6

Таблиця 4.6 – Калькуляція собівартості і ціни виробу

Статті витрат	Сума для серійного матеріалу, грн	Сума для запропонованого матеріалу, грн
Сировина і основні матеріали	2168	1885
Основна заробітна плата основних виробничих робітників	5550	5550
Додаткова заробітна плата основних виробничих робітників	2220	2220
Відрахування на соціальні заходи з заробітної плати основних виробничих робітників	1720,4	1720,4
Загальновиробничі витрати	22200	22200
Собівартість виробнича	26140,4	26140,4

Кінець таблиці 4.6

Адміністративні витрати	16650	16650
Витрати на збут	522,8	522,8
Собівартість повна	43596,4	43313,2
Прибуток	6539,46	6497
Ціна оптова	50135,86	49810,2
Податок на додану вартість	10027,17	9962,04
Ціна продажу	60163	59772,08

Економічна ефективність використання нового матеріалу визначається наступним чином:

$$E = (C_6 K_e - C_n) \cdot N, \text{ грн.}, \quad (4.9)$$

де C_6 – собівартість базового виробу;

K_e – коефіцієнт експлуатаційного ресурсу

C_n – собівартість нового виробу

$$E = (60163 \cdot 1,5 - 59772,08) \cdot 500 = 15236210 \text{ грн}$$

В результаті проведених економічних розрахунків було встановлено, що матриця, виготовлена з теплостійкого сплаву ЕК28, не лише має поліпшені властивості, але й меншу роздрібної ціни і знаходиться на рівні 59772,08 грн. З урахуванням збільшеного терміну експлуатації, отриманого під час дослідження, економічний ефект становить 15236210 грн.

Таким чином, можна зробити висновок, що використання матриць для гарячого деформування матеріалів з розглянутого сплаву є доцільним з економічної точки зору, завдяки меншій вартості нового сплаву та підвищеному терміну експлуатації.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі розглядаються заходи безпеки при дослідженні структури і властивостей штампових сталей.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

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

б) можливість отримання механічних травм, опіків, ушкоджень органів зору внаслідок відсутності індивідуальних засобів захисту;

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

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

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

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

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

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

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

5.2 Заходи по забезпеченню безпеки

а) Згідно вимог НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» для безпечного проведення робіт необхідно виконати наступні організаційні заходи:

- призначити працівників, відповідальних за безпечне проведення робіт;
- видати наряд або розпорядження;
- видати дозвіл на підготовку робочих місць і на допуск;
- підготувати робочі місця та забезпечити допуск до роботи;
- забезпечити нагляд при виконанні робіт;
- при необхідності, організувати переведення на інше робоче місце;
- забезпечити оформлення перерв у роботі та порядок її закінчення.

До основних заходів захисту людини від ураження електричним струмом, відносять:

- забезпечення неможливості випадкового дотику до струмоведучих частин, що перебувають під напругою;
- електричний розподіл мережі;
- усунення небезпеки ураження з появою напруги на корпусах, кожухах та інших частинах електроустаткування, що досягається захисним заземленням, зануленням і захисним відключенням;

- використання малих напруг;
- захист від випадкового дотику до струмоведучих частин кожухами, огороженням або подвійною ізоляцією;
- захист від небезпек можливих при переході напруги з вищої сторони на нижчу;
- контроль і профілактика пошкоджень ізоляції;
- компенсація ємнісної складової струму замикання на землю;
- застосування спеціальних електрозахисних засобів, блокувань, сигналізації та запобіжних пристроїв;
- організація безпечної експлуатації електроустановок.

Використання захисного заземлення:

- Робоче заземлення – це заземлення струмоведучих частин електроустановки, яке виконане для забезпечення роботи електроустановки (не з метою електробезпечності), наприклад, робоче заземлення нейтралі трансформатора;
- Заземлення блискавкозахисту – це заземлення блискавкоприймача, з метою захисту об'єкта від прямого удару блискавки;
- Захисне заземлення – це заземлення, яке виконане з метою електробезпечності, тобто з'єднання відкритих провідних частин (ВПЧ) із заземлювачем для захисту від непрямого дотику та від наведеної напруги.

На практиці, у більшості випадків, це той же самий заземлювач до якого приєднують і ВПЧ, і нейтралі трансформаторів, і блискавкоприймачи. Тільки при яких-небудь обґрунтуваннях (технологічних, з погляду безпеки і т.п.) застосовують три різні заземлювача, що обходиться значно дорожче.

Заземлення використовують також для захисту від статичної електрики, що накопичується при терті діелектриків для захисту від електромагнітних випромінювань, підключаючи екрани до заземлювача і тощо.

Захисне заземлення може бути ефективним тільки в тому випадку, якщо струм замикання на землю не збільшується зі зменшення опору заземлення. Це можливо в мережах з ізольованою нейтраллю, де при глухому замиканні

на землю або на заземлений корпус струм не залежить від провідності (або опору) заземлення, а також у мережах, напругою вище 1000 В з заземленою нейтраллю. В останньому випадку замикання на землю є коротким замиканням, при цьому спрацьовує максимальний струмовий захист. У мережі із заземленою нейтраллю напругою до 1000 В заземлення неефективне, тому що навіть при глухому замиканні на землю струм залежить від опору заземлення та зі зменшенням останнього струм зростає.

б) У відповідності до вимог «Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту», яке затверджене наказом Держгірпромнагляду 24.03.2008 № 53 та зареєстровано в Міністерстві юстиції України 21 травня 2008 р. за № 446/15137 лаборант металографічної лабораторії при роботі з лабораторними муфельними печами повинен мати: халат бавовняний, берет бавовняний, фартух брезентовий з нагрудником з вогнезахисним просоченням, туфлі шкіряні нагумовій підошві, рукавиці брезентові із вогнезахисним просоченням, окуляри захисні закриті.

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

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

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

Розливання кислот з пляшок проводиться за допомоги сифонів під витяжкою шляхом нахилу пляшки в корзині двома робочими. Якщо витяжка відсутня, то розливання проводиться у протигазах. Згідно з ГОСТ 12.4.103-83 «Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук.

Класифікація» під час розливання робочі повинні бути одягненими у гумові фартухи, рукавиці, чоботи та захисні окуляри.

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

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

Передбачено перенесення лугів та лужних металів пінцетом або фарфоровою ложкою.

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

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

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

- ретельно промити місце опіку великим струменем води;
- промити ділянку опіку: при опіках кислоту – 10 % розчином бікарбонату натрію, при опіках лугом – 3-5 % (за об'ємом) розчином оцтової кислоти або 1-2 % (за об'ємом) розчином соляної кислоти.

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

- при попаданні кислоти – 5% розчином бікарбонату натрію;
- при попаданні лугу – 2% розчином борної кислоти або 3% розчином оцтової кислоти.

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

д) Безпека роботи з електронним мікроскопом залежить від точності дотримання вимог з техніки безпеки, котрі запроектовані для даної лабораторії та правильності експлуатації обладнання. Для проведення робіт

на електронному мікроскопі необхідно одержати два дозвільні документи: Ліцензію на право ведення робіт з джерелом іонізуючого випромінювання в органах Держатомрегулювання України та Санітарний паспорт в Запорізькій обласній СЕС.

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

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

Після довготривалої перерви в роботі, перед тим, як ввімкнути прискорюючу напругу, провести відпompування колони на високий вакуум протягом 3-4 годин. Прискорюючу напругу збільшувати поступово, починаючи з мінімальної для конкретного приладу. Юстировку електронного мікроскопу проводять тільки при відсутності забруднення у колоні і при мінімальному струмі електронного пучка.

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

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

Вимоги санітарії до параметрів повітряного середовища виробничих приміщень наводяться ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». Для нормальної роботи в лабораторії запроектовано підтримання оптимальних норм температури, відносної

вологості і швидкості переміщення повітря, значення яких наведені в табл. 4.1.

Для підтримування температури повітря на належному рівні пропонується використовувати кондиціонування повітря, вентиляція - природна (провітрювання) та механічна - загальнообмінна у відповідності з вимогами СНиП 2.04.85-86 «Отопление, вентиляция, кондиционирование. Нормы проектирования» [49]. Поряд з використанням вентиляції. У шафі для зберігання реактивів передбачено встановлення витяжної вентиляції.

Таблиця 5.1 - Оптимальні норми температури, відносної вологості і швидкості переміщення повітря у робочій зоні виробничих приміщень

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

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

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

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

Також передбачається проведення вологого прибирання в приміщенні.

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

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

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

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

Види трудової діяльності поділяються на 3 групи:

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

Група Б - робота з введенням інформації;

Група В - творча робота в режимі діалогу;

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

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

- для групи А - по сумарному числу опрацьованих знаків за час роботи з комп'ютером, але не більше 60 000 знаків;
- для групи Б - по сумарному числу зчитуються або вводяться знаків за час роботи з комп'ютером, але не більше 40 000 знаків;
- для групи В - по сумарному часу безпосередньої роботи з комп'ютером, але не більше 6 годин за час роботи з комп'ютером;

Для забезпечення оптимальної працездатності і збереження здоров'я протягом часу роботи необхідно переконатися, що монітори комп'ютера мають антиблікове покриття (окрім групи А) з коефіцієнтом відбиття не більше 0,5. Покриття повинне також забезпечувати зняття електростатичного заряду з поверхні екрана, іскріння і накопичення пилу. Корпус монітора повинен забезпечувати захист від іонізуючих та неіонізуючих випромінювань. Необхідно перевірити робоче положення комп'ютера від стань між стіною з віконними прорізами і столом має бути не менше 0,8 м. При невеликій кількості робочих місць бажано розташувати столи біля

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

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

5.4 Заходи з пожежної безпеки

Заходи з пожежної безпеки визначаються відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». Категорію виробництва за пожежною небезпекою (А, Б, В, Г, Д) споруд (приміщень) цеху (ділянки, підстанції) визначають на основі аналізу речовин і матеріалів, що використовуються у виробництві, відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» і СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания». Відповідно до категорії виробництва з пожежної небезпеки та вимогами ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», визначають ступінь вогнестійкості

приміщення цеху (дільниці, підстанції). Шляхи евакуації працівників на випадок пожежі (переходи, евакуаційні виходи) передбачають згідно вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги».

Максимальну відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу визначають згідно СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания». Відповідність обладнання, силових і освітлювальних мереж вимогам пожежної безпеки в першу чергу залежить від відповідності ступеня захисту їх оболонок (ІР) класу пожежанебезпечної зони (П-I, П-II, П-IIa и П-III) визначених згідно НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок». Засоби виявлення займань та пожеж передбачаються згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту». В даний час можуть використовуватися:

- охоронно-пожежна сигналізація (ОПС) неадресного типу;
- порогова охоронно-пожежна сигналізація;
- адресно-порогова охоронно-пожежна сигналізація.

5.5 Заходи забезпечення безпеки в умовах надзвичайних ситуацій

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

- запобігання причин виникнення;
- запобігання найекстремальніших ситуацій;
- пом'якшення, максимальне послаблення наслідків надзвичайних ситуацій.

Стратегія запобігання причин виникнення надзвичайних ситуацій передбачає недопущення таких дій або процесів, які несуть загрозу населенню. Дана стратегія здійснюється або відмовою від будівництва

небезпечних об'єктів, або знищенням чи перепрофілюванням виробництв - джерел підвищеної небезпеки.

Друга стратегія - запобігання самої НС - передбачає недопущення виходу небезпечного процесу з-під контролю шляхом використання надійних аварійних систем, сигналізації, автоматики та інших заходів з підвищення надійності і стійкості роботи підприємств, а також шляхом заходів превентивної евакуації.

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

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

Превентивні:

- аналіз і встановлення зовнішніх і внутрішніх причин, що ведуть до катастрофи;
- прогнозування вогнищ ураження, втрат і збитків на підприємстві;
- заходи з підвищення стійкості;
- обґрунтування сил і засобів для проведення дій з локалізації вогнищ ураження та пошуково-рятувальних робіт;
- навчання формувань і громадян способам захисту;
- підготовка надійного КП управління.

Оперативні:

- оповіщення про НС;
- проведення всіх видів розвідки та оцінка обстановки;
- проведення екстрених захисних заходів (укриття в ЗС, евакуація, використання ЗІЗ);
- використання сил постійної готовності для локалізації катастрофи;
- надання першої медичної та першої лікарняної допомоги;

- нарощування сил і засобів в ОП за рахунок залучення формувань підвищеної готовності;
- термінове постачання постраждалих продовольством та іншими життєво необхідними засобами;
- введення аварійно-відновлювальних робіт.

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

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

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

3. Основна і визначальна стадія. Мета - перебороти надзвичайний характер ситуації: відновити безпеку населення в зоні лиха, ліквідувати загрозу життю і здоров'ю всім постраждалим, створити мінімально необхідні умови для життєдіяльності населення, що залишилося. Задача: розгортання в найкоротші терміни рятувальних робіт на всіх постраждалих об'єктах зони

лиха, надання допомоги потерпілим для захисту їх життя, здоров'я і підтримання життєздатності в екстремальних умовах; евакуація постраждалих із зони лиха та їх життєзабезпечення; терміновому проведенні аварійно-відновлювальних робіт на системах водо-, тепло-, газо-, електросистемах і зв'язку в зоні лиха. Тривалість - кілька діб - кілька тижнів.

4. Стадія відновлення, тобто економічна, соціальна, культурна та екологічна реабілітація зони лиха. Органи надзвичайного управління вичерпали свою роль і передають функції постійної дії місцевим органам управління. Розробляється спеціальна програма з черговістю комплексу заходів з реабілітації зони лиха.

Таким чином, основними заходами безпеки при дослідженні є:

- комплекс заходів для забезпечення безпеки при виконанні робіт всі співробітники лабораторії повинні мати 2-3 групу з електробезпеки;

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

- використовувати ізоляцію проводів;

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

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

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

- заходи з санітарно-гігієнічних умов праці

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

- запропоновано використовувати кондиціонування повітря, вентиляція - природна (провітрювання) та механічна – встановлення витяжної вентиляції. Об'єм повітря, що видаляється за допомогою витяжної складає 10620 м³/год.

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

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

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

ВИСНОВКИ

В даній роботі було розглянуто матрицю штампу для гарячого деформування. Показано, що штамповий інструмент для гарячого деформування в процесі роботи перебувають в складних і жорстких умовах навантаження, таких як збільшені діючі напруження, високі температури нагріву, циклічний вплив напружень від знакозмінних зусиль та інше.

1. Всі наведені данні про роботу штампового інструменту обумовлюють його корисність як інструменту та актуальність поліпшення даного виробу. Штмп процесі піддається крихкому руйнуванню, зминанню в процесі роботи, розвитку процесів термомеханічної втоми, що призводять до утворення сітки тріщин "розпалу" при якому маса і розміри поковки поступово виходять за допустимі межі. А саме це є недопустимо та повинно бути усуненим.

Саме ці проблеми спрямовують в напрямку поліпшення штампового інструменту та збільшення робочого циклу одиниці виробу.

На сьогоднішній день актуальними завданнями в інструментальному виробництві є значне підвищення технічного рівня і поліпшення якості виготовлення інструменту, забезпечення більш повного задоволення потреб в машинобудуванні та металообробці.

2. В розділі запропоновано та рекомендовано для виготовлення матриці штампу гарячого деформування сплав на залізо-нікелевій основі ЕК28. Зазначена сплав має задовільні характеристики для виготовлення даного виробу. Це обумовлено властивостями сплаву після ТО, що передбачено її хімічним складом, а саме розглянутий сплав має високу в'язкість, що є однією з обов'язкових та найважливіших властивостей штампового інструменту. Крім того сплав ЕК28 має високу міцність при високих температурах. Беручи це до уваги пропонований сплав є більш надійним,

практичним в застосуванні, що дає можливість запропонувати кращий та економічно доцільніший аналог базової сталі.

3. В розділі 3 було запропоновано два режими термічної обробки деталі «Матриця штампу гарячого деформування» із сплаву ЕК28. Показано, що базовою термічною обробкою є нормалізація, наступне гартування з послідуємим одинарним старінням. Реалізація рекомендованого режиму ТО забезпечила сплаву твердість 22 HRC і такі механічні властивості при температурі 750 °С: границя текучості 204 МПа, границя міцності 370 МПа, відносне подовження 32 %, відносне звуження 44 %, ударна в'язкість 42 Дж/см².

На заміну базового режиму ТО було запропоновано кращий варіант для даного виробу з обраного матеріалу. Він являє собою гартування від температури 1250 °С, з послідуємим сходиноким старінням за схемою НТ старіння з наступним ВТ старінням.

Реалізація вказаного режиму ТО забезпечила сплаву твердість 29 HRC і такі механічні властивості при температурі 750 °С: границя текучості 284 МПа, границя міцності 419 МПа, відносне подовження 32 %, відносне звуження 44 %, ударна в'язкість 42 Дж/см². Тобто порівняно зі звичайним режимом старінням досягнуто зростання твердості на 7 одиниць HRC, границі текучості на 80 МПа та границі міцності на 50 МПа без зменшення характеристик пластичності та ударної в'язкості.

4. Було проаналізовано можливі дефекти, котрі можуть утворитися на різних етапах виробництва штампового інструменти, та шляхи їх виправлення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кушнір, Р. П., Лісняк, П. Г. Основи технології штампування. Навчальний посібник. Львівський політехнічний національний університет, 2017.
2. Гриньов С. В. Технологія та обладнання гарячого штампування / С. В. Гриньов, О. В. – Київ : Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т", 2015.
3. Грабовський В. Я. Структурні перетворення матриць при гарячому пресуванні титанових та сталевих профілів / В. Я. Грабовський // Металознавство та обробка металів. – 2000. – № 3. – С. 17–21.
4. Літовченко В. В. Процеси і обладнання штампування / В. В. Літовченко, В. М. Гладкий. – [Б. м.] : Інтерперс, 2008.
5. Пахолюк А. П. Основи матеріалознавства і конструкційні матеріали : підручник / А. П. Пахолюк, О. А. Пахолюк. – Львів : Світ, 2002. – 172 с.
6. Dieter G. E. Mechanical Metallurgy / G. E. Dieter. – [S. l.] : McGraw-Hill Education, 1988
7. Матеріалознавство і технологія матеріалів : підручник / Н. В. Мережко [та ін.]. – Київ : нац. торг.-екон. ун-т, 2010. – 352 с.
8. Cahn R. W. Materials Science and Technology: A Comprehensive Treatment / R. W. Cahn, P. Haasen, E. J. Kramer. – [S. l.] : Wiley-VCH, 2005.
9. Гапанова О. П. Сталі та сплави з особливими властивостями / О. П. Гапанова, А. Ф. Будник. – Суми : СумДУ, 2014. – 240 с.
10. Дурягіна З. А. Сплави з особливими властивостями : навч. посіб. / З. А. Дурягіна, О. Я. Лизун, В. Л. Пілюшенко. – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2007. – 236 с.
11. Грабовський В. Я. Дослідження працездатності пресових матриць з ливарного нікельового стопу ЖС6К при гарячому пресуванні жароміцних матеріалів / В. Я. Грабовський, С. Б. Бєліков, Г. Г. Трикоз // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2002. – № 2. – С. 37–40.

12. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної бакалаврської дипломної роботи для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство» / І. М. Лазечний [та ін.]. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2022. – 57 с.

13. Грабовский В. Я. Аустенитные штамповые стали и сплавы для горячего деформирования металлов / В. Я. Грабовский, В. И. Канюка // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2001. – № 10. – С. 31–34.

14. 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)

15. Аустенитный сплав для пресового інструмента / В. Я. Грабовский [та ін.] // Металлургия. Производство инструментальных и подшипниковых сталей. – 1982. – С. 14–17.

16. Грабовський В. Я. Ефективність сходиноквого старіння сплаву з інтерметалідно-карбідним зміцненням для інструментів гарячого деформування металів / В. Я. Грабовський, Д. О. Шило // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2019. – № 2.

17. 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.

18. 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.