

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Фізична матеріалознавство  
(повна назва кафедри)

## Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістр

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему Дослідження зміни мікроструктури та  
мікротвердості в поверхневих шарах матриць  
після гарячого пресування нікелевого сплаву

Виконав: студент VI курсу, групи 192213М  
спеціальності (напряму підготовки)

6.050403 Інженерне матеріалознавство  
(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Змієвська Д.О.  
(прізвище та ініціали)

Керівник Павловський В.І.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент Бришов А.С.  
(прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя  
2018 рік



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

Інститут, факультет фізико-технічний, інженерно-фізичний  
 Кафедра фізичного матеріалознавства  
 Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) магістр  
 Спеціальність 132 Матеріалознавство (Практичне матеріалознавство)  
 (код і назва)  
 Напрямок підготовки 6.050403 Інженерне матеріалознавство  
 (код і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри проф. г.т.м.

Ольшотечук В.І.

"11" 12 2018 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ**

Знієвський Дар'ї Олександрівні  
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження зміни мікроструктури та мікротвердості в поверхневих шарах матриць після гарячого пресування нікелевого сплаву

керівник проекту (роботи) Григорівський Володимир Якович, к.т.м., доцент  
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 30 листопада 2018 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) умови експлуатації та причини виходу пресових матриць з ладу

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Особливості експлуатації та характеристики теплостійких цитампних сталей для гарячого деформування; матеріали та методи досліджень; 2. Дослідження відпрацьованих матриць зі сплаву 5ХЗВЗМРС; 3. Розробка режиму та технології термічної обробки матриць зі сталі 5ХЗВЗМРС; 4. Економічна ефективність роботи; 5. Охорона праці та безпека у нестандартних ситуаціях

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

Механічні властивості сталей високої теплостійкості в залежності від типу виробництва; схема гарячого прямого процесу пресування; Ескіз креслення матриць; Дослідження відпрацьованих матриць зі сталі 5ХЗВЗМРС (ФМД); Залежності мікротвердості від відстані до дна поверхні для різних діаметрів матриць; мікроструктура відпрацьованої матриці; графік терм. обробки пресових матриць зі сталі 5ХЗВЗМРС



## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

| Розділ                                               | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                            |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------|----------------------------|
|                                                      |                                           | завдання видав | прийняв виконання завдання |
| Особлив. експ. та хар-ки теплофіз. власт. матеріалів | Грабовський В.Я, доцент, к.т.н.           |                |                            |
| Мат-ли та методи дослідж.                            | Грабовський В.Я, доцент, к.т.н.           |                |                            |
| Досл. впливу зварюв. процесу на власт. матеріалів    | Грабовський В.Я, доцент, к.т.н.           |                |                            |
| Розробка реал. та технол. процесу зварювання         | Грабовський В.Я, доцент, к.т.н.           |                |                            |
| Економ. р.                                           | Крусікова В.В, доцент, к.е.н.             |                |                            |
| Охорона праці                                        | Нестеров О.В, доцент, к.т.н.              |                |                            |
| Н. Конфураль                                         | Жуков О.В, к.т.н., доцент                 |                |                            |

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту (роботи)                                         | Строк виконання етапів проекту (роботи) | Примітка |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------|
| 1     | Особлив. експлуатації та характеристики теплофіз. власт. матеріалів для розробки | 17.10.18                                |          |
| 2     | Матеріали та методи досліджень                                                   | 27.10.18                                |          |
| 3     | Дослідження впливу зварюв. процесу на власт. матеріалів зварювання (Ду 23)       | 06.11.18                                |          |
| 4     | Розробка реал. та технол. процесу термічної обробки матеріалів зварювання Ду 23  | 17.11.18                                |          |
| 5     | Економічна ефективність роботи                                                   | 25.11.18                                |          |
| 6     | Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях                                | 28.11.18                                |          |
|       |                                                                                  |                                         |          |
|       |                                                                                  |                                         |          |
|       |                                                                                  |                                         |          |
|       |                                                                                  |                                         |          |

Студент

*Зіньковська Д.О.*  
(підпис)

Зіньковська Д.О.  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

*Мельников Р.І.*  
(підпис)

Мельников Р.І.  
(прізвище та ініціали)



## РЕФЕРАТ

ПЗ: 77 с., 9 мал., 22 джерела, 6 ГЧ.

Об'єкт дослідження – відпрацьовані матриці, котрі виготовлені зі серійної високотеплостійкої штампової сталі 5Х3В3МФС (ДИ23)

Мета роботи – дослідження знеміцнення та температури розігрівання поверхневих шарів матриць при гарячому пресуванні прутків славу Ni-Mo.

Проаналізовано причини виходу матриць з ладу. Отримано криві залежності мікротвердості від відстані до робочої поверхні. За результатами електронно-мікроскопічних досліджень та кривими залежностей встановлено, що матриці піддаються розігріванню до температур, які перевищують температуру відпуску сталі ДИ-23. Вказано необхідність підвищення службових характеристик та напрямки розробки нових штампових матеріалів. Запропоновано більш працездатний жароміцний сплав ХН35ВТЮ (ЭП787). Розраховано економічний ефект при використанні сплаву ЭП787 замість сталі ДИ-23. Надано основні заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

ГАРЯЧЕ ПРЕСУВАННЯ, СТАЛЬ 5Х3В3МФС, ВІДПРАЦЬОВАНА МАТРИЦЯ, МІКРОТВЕРДІСТЬ, МІКРОСТРУКТУРА, МІНІМУМ НА КРИВІЙ МІКРОТВЕРДОСТІ, ТЕМПЕРАТУРА РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ, ОБМЕЖЕНІСТЬ ЕКСПЛУАТАЦІЇ, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, КАРТА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ, ОХОРОНА ПРАЦІ

## ЗМІСТ

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                                        | 7  |
| 1. ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ<br>ТЕПЛОСТІЙКИХ ШТАМПОВИХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ГАРЯЧОГО<br>ДЕФОРМУВАННЯ ..... | 8  |
| 1.1 Умови роботи інструменту для гарячого деформування металів.....                                               | 8  |
| 1.2 Серійні штампові сталі для виготовлення інструментів гарячого<br>деформування.....                            | 14 |
| 1.2.1 Класифікація сталей.....                                                                                    | 14 |
| 1.2.2 Структура та властивості після термічної обробки.....                                                       | 17 |
| 1.3 Результати експлуатації серійних штампових сталей.....                                                        | 27 |
| 1.4 Необхідність підвищення службових характеристик та напрямки<br>розробки нових штампових матеріалів.....       | 33 |
| 1.5 Мета роботи та постановка задачі.....                                                                         | 34 |
| 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ .....                                                                         | 35 |
| 2.1 Матеріали та технологія отримання.....                                                                        | 35 |
| 2.2 Виготовлення зразків для досліджень.....                                                                      | 35 |
| 2.2.1 Вимірювання мікротвердості.....                                                                             | 36 |
| 2.2.2 Дослідження мікроструктури.....                                                                             | 37 |
| 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ МАТРИЦЬ ЗІ СТАЛІ<br>5ХЗВЗМФС (ДИ-23).....                                           | 39 |

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4. РОЗРОБКА РЕЖИМУ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ МАТРИЦЬ ЗІ СТАЛІ 5ХЗВЗМФС (ДИ-23)..... | 44 |
| 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ.....                                                    | 54 |
| 5.1 Тенденції розвитку світового ринку технологій.....                                    | 54 |
| 5.2 Техніко-економічні розрахунки.....                                                    | 55 |
| 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ...                                   | 60 |
| 6.1 Аналіз потенційних небезпек.....                                                      | 60 |
| 6.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки.....                                           | 61 |
| 6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.....                     | 66 |
| 6.4 Заходи з пожежної безпеки.....                                                        | 69 |
| 6.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях.....                          | 72 |
| ВИСНОВКИ.....                                                                             | 74 |
| ЛІТЕРАТУРА.....                                                                           | 76 |

## ВСТУП

Серед процесів точного формоутворення заготовок провідне місце займає пресування. Цей процес удосконалювався в напрямку збільшення потужності і швидкохідності обладнання, безперервно зростає обсяг обробки важкодеформівних сплавів. При цьому значно посилювалися температурно-силові умови експлуатації інструменту: температури розігріву поверхневих шарів досягають  $800 - 900^{\circ}\text{C}$  і вище; питомі тиску у багатьох випадках становлять  $1500 - 2000\text{МПа}$ .

Процес пресування через матрицю виявився найбільш економічним і технологічно раціональним для одержання широкого сортаменту профілів, прутків, дроту і труб з кольорових металів, забезпечуючи досить високу точність розмірів пресованих виробів.

В процесі гарячого пресування на вертикальних пресах з механічним приводом пресова матриця зношується під впливом силових і температурних навантажень. При пресуванні нікелевих сплавів інструмент працює при температурах  $1200 - 1250^{\circ}\text{C}$ , при чому тиск на може досягати  $1200 - 1300\text{МПа}$ . Додатковий вплив на пресовий інструмент надають термічні напруження, котрі виникають в результаті перепаду температур між інструментом і металом. Окрім цього всі робочі поверхні матриці піддаються інтенсивному абразивному зношенню. Основна частина інструменту знаходиться під комплексною дією різних руйнівних чинників і незрідка пресування відбувається в умовах близьких до граничних можливостей інструменту.

Проблема підвищення терміну експлуатації інструменту для гарячого деформування металів є дуже важливим завданням для багатьох галузей промисловості, там, де інструмент працює в умовах інтенсивного абразивного зношування, високих температур і підвищеного навантаження.

# 1 ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОСТІЙКИХ ШТАМПОВИХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ГАРЯЧОГО ДЕФОРМУВАННЯ МЕТАЛУ

## 1.1 Умови роботи інструменту для гарячого деформування металів

Основними технологічними операціями гарячого деформування є: об'ємне штампування (пресування, висадка, калібрування та ін), формування, різання, вільне кування на молотах. Найбільш важконавантажені з них — операції пресування, висадки і точного штампування.

За умовами роботи штампові інструменти для гарячого деформування можна розділити на три основні групи [1]:

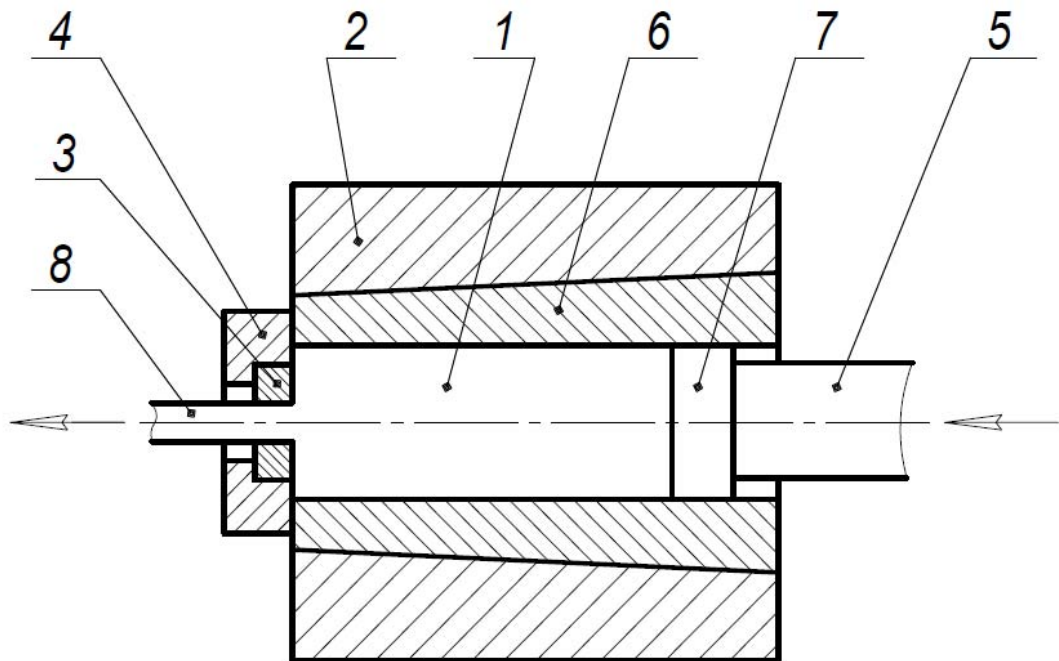
- пресові інструменти — працюють в умовах порівняно повільного навантаження, що призводить до тривалого контакту з заготовкою і, відповідно, значного розігріву їх поверхонь;
- інструменти молотових штамів — працюють в умовах ударного навантаження, при цьому внаслідок короткочасного контакту інструментів із заготовкою їх поверхні розігріваються до більш низьких температур, ніж пресових;
- інструменти для високошвидкісного деформування — зазнають високі ударні навантаження і питомі тиски. Принциповою відмінністю в умовах їх роботи є короткочасність теплової і силової взаємодії.

Пресування металів — процес обробки тиском, що полягає у витіканні металу із замкнутого об'єму (контейнера) через отвір матриці, форма і розміри якого визначає переріз пресованого профілю.

Схема процесу пресування наведена на рисунку 1.1 [2]. Нагріту до необхідної температури заготовку 1, розміщують у контейнер 2, що включає втулку 6, з одного торця якої встановлюють матрицю 3 в спеціальному матрице-тримачі 4, а з іншого торця — поршень 5, званий прес-штемпедем



(пуансоном). Прес-штемпель передає тиск преса на заготовку 5 за допомогою прес-шайби 7 і змушує метал витікати з отвору в матриці, утворюючи в результаті прес-виріб 8.



1 – заготовка; 2 – контейнер; 3 – матриця; 4 – матрице-тримач; 5 – пуансон;  
6 – втулка контейнера; 7 – прес-шайба; 8 – прес-виріб

Рисунок 1.1 — Схема процесу пресування [1].

Гарячим пресуванням виготовляють прутки діаметром 3...250 мм, труби зовнішнім діаметром 20...560 мм і товщиною стінки 1,5...15 мм, а також інші різноманітні профілі складного перерізу.

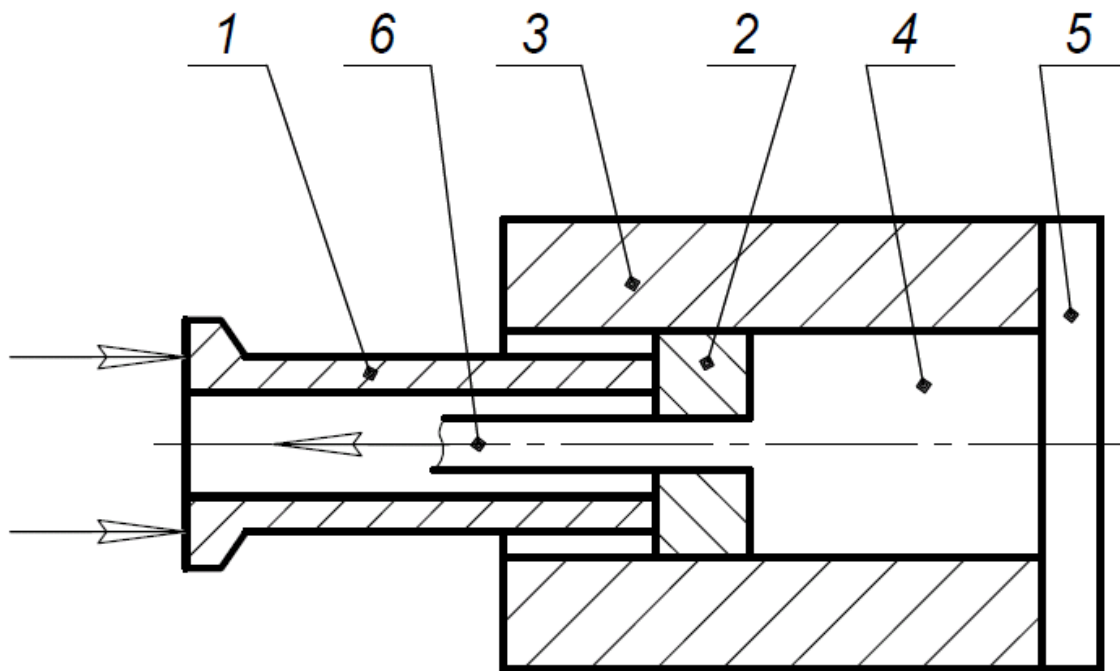
В залежності від наявності або відсутності переміщення заготовки у контейнері преса, розрізняють пряме і зворотне пресування.

При прямому пресуванні, схема якого аналогічна схемі, що зображена на рис. 1, напрям течії металу збігається з напрямком руху прес-штемпеля, причому пресуємий метал переміщається в нерухомому контейнері.

При зворотньому пресуванні, схема якого наведена на рис. 1.2, напрямок течії металу протилежний напрямку руху прес-штемпеля 1 з



матрицею 2, причому пресуємий метал 4 не переміщується у контейнері 3, а рухається сам контейнер або прес-штемпель.



1 – прес-штемпель; 2 – матриця; 3 – контейнер; 4 – заготовка; 5 – упор;  
6 – прес-виріб

Рисунок 1.2 — Схема зворотнього процесу пресування [2].

Процес пресування в порівнянні з іншими видами обробки металів тиском, зокрема з прокаткою і ковкою, має наступні переваги:

- вид напруженого стану — всебічне нерівномірне стиснення значно підвищує пластичність металу і дозволяє вести обробку з великими ступенями деформації;

- можливість отримання суцільних і порожнистих профілів найскладнішої конфігурації постійного, змінного та періодичного перерізу по довжині профілю;

- висока якість поверхні, висока точність геометричних розмірів, відсутність внутрішніх прихованих дефектів і більш однорідні властивості по перерізу та довжині заготовки;

- зручність виробництва малих серій, за рахунок високої маневреності при переході з одного типорозміру виробу на інший;



- можливість виготовлення біметалевих труб з одностороннім та двостороннім плакованим шаром.

До основних технологічних недоліків процесу пресування можна віднести наступне:

- обмеження швидкостей пресування при виробництві низки металів і сплавів, обумовлене порушенням цілісності прес-виробу при веденні процесу з великими швидкостями;

- обмеження довжини заготовки, що обумовлене міцністю прес-штемпеля, а також деформаційними умовами;

- високі втрати металу на відходи, пов'язані з наявністю прес-залишку

- підвищена нерівномірність деформації;

- порівняно низька стійкість технологічного інструменту пресування і його висока питома вартість.

Виробництво виробів будь-якої форми і розмірів пресуванням включає в себе такі основні процеси: підготовка заготовок до пресування, нагрівання заготовок, пресування і обробка відпресованих виробів. Вимоги до виконання операцій, пов'язаних з пресуванням, в значній мірі залежать від форми та розмірів пресуємих виробів, а також властивостей оброблюваних металів.

Для гарячого пресування використовують вертикальні та горизонтальні преси з механічним або гідравлічним приводом.

Переваги вертикальних пресів перед горизонтальними наступні:

- велика продуктивність за кількістю пресувань на годину;

- рухомі частини легше центруються;

- можливість виготовлення труб із сплавів, пресування яких на горизонтальних пресах утруднене і труб з більш тонкими стінками за рахунок більш високого питомого тиску пресування.



Механічні преси зазвичай виконують з кривошипно-шатунним приводом. Кривошипно-шатунний прес має ряд переваг перед гідравлічним, а саме:

- більш просту конструкцію, а, отже, меншу вартість виготовлення;
- більш економічний у процесі експлуатації;
- забезпечує велику швидкість пресування;
- забезпечує рівномірну характеристику роботи.

Швидкість деформування при пресуванні становить 0,2...500 мм/с, діапазон швидкостей витікання — 1...1500 м/хв.

Головними технологічними факторами процесу пресування, що визначають якість, структуру і механічні властивості прес-виробів, а також стійкість пресового інструменту, є температура металу і швидкість витікання. Зазвичай ці параметри об'єднують в одне поняття — температурно-швидкісний режим пресування.

Процеси пресування ведуться при високих ступенях деформації, які обмежуються не технологічними властивостями пресуємого металу, а технічними можливостями обладнання. Необхідно відзначити, що пресування сталей відрізняється від пресування кольорових металів і сплавів дуже високими разовими деформаціями і малою тривалістю процесу. Висока ступінь деформації сприяє виділенню в осередку деформації значної кількості тепла, яке істотно підвищує температуру металу, що може привести до оплавлення меж зерен і руйнування оброблюваного металу. Водночас для забезпечення високої продуктивності, поліпшення умов роботи інструменту і зменшення перепаду температури заготовки бажано застосування високих, але не перевищено допустимих, швидкостей деформування [2].

До основних характерних особливостей роботи матриці при гарячому деформуванні слід віднести високий розігрів інструменту в процесі роботи. При деяких процесах гарячого пресування поверхневий шар робочих частин матриць глибиною в кілька мікрон розігрівається до 900–1000 °С. Також матриця піддається одночасному впливу циклічно змінних температур і

тисків. Накладення "робочих" (тобто обумовлених опором деформуванню матеріалу заготовок) і термічних напружень у поєднанні з конструктивно неминучими (різкі переходи, місцеві поглиблення і т.д.) і технологічними (підрізи, ризики) концентраторами сприяє виникненню в тілі інструмента складного напруженого стану. Великі питомі тиски на інструмент (до 1200 МПа), залежать від виду пресуємого матеріалу, температури нагріву, конфігурації деталі, якості змащення, ступеня видалення окалини, величини зносу інструмента і т.д.

Отже, умови роботи інструменту гарячого деформування дуже важкі: висока температура на протязі всього процесу пресування та високі питомі тиски при мінімальних можливостях змащення та охолодження [1].

Специфічні умови роботи пресового інструмента обумовлюють високі вимоги до матеріалів для його виготовлення. Матеріал для важконавантаженого інструмента повинен мати наступний комплекс властивостей [3]:

- теплостійкість (до 580 °С) для збереження високої твердості і міцності при нагріванні;

- високий опір пластичної деформації для збереження розмірів і форми інструменту при високих тисках, що виникають при деформуванні: межа плинності сталей при робочих температурах повинна бути не нижче 1400 МПа;

- високою теплопровідністю, котра необхідна для швидкого відводу тепла щоб уникнути сильного розігріву та зменшення нерівномірності температурних полів інструмента;

- зносостійкість при підвищених температурах; високу в'язкість, що виключає можливість появи тріщин в інструментах (особливо при динамічних навантаженнях);

- в'язкість сталі для гарячого деформування повинна бути не нижче 30-35 Дж/см<sup>2</sup> (при температурі 20 °С) і 50 Дж/см<sup>2</sup> (при температурі експлуатації) при твердості 46 HRC;



- опір термічної втоми (розпалостійкість), тобто стійкість сталі проти утворення поверхневих тріщин при багаторазових циклічних нагріваннях та охолодженнях;

- жаростійкість (окалиностійкість), особливо якщо поверхневі шари інструменту нагріваються понад 600 °С;

- прогартовуваність (особливо для штампів великих розмірів);

- теплопровідність для кращого відведення теплоти, що передається до нагрітої заготовки.

Зазначені властивості досягаються комплексним легуванням сталей карбідоутворювальними елементами (вольфрамом, молібденом, ванадієм, хромом) при вмісті вуглецю 0,30-0,60 % (у більшості марок). В деякі марки сталей вводять також нікель і марганець для збільшення прогартованості і кремній для підвищення жаростійкості і міцності. Після гартування сталі піддають відпуску для отримання троостита або троостита-сорбіту. Для підвищення зносостійкості матриці азотують або ціанують на глибину 0,1–0,3 мм. Останнім часом для таких цілей використовується також борування і хромування.

## 1.2 Серійні штампові сталі для виготовлення інструментів гарячого деформування

### 1.2.1 Класифікація сталей

За рівнем основних властивостей (теплостійкості, в'язкості, зносостійкості та ін.), які визначаються характером легування та термічної обробкою, штампові сталі для гарячого деформування поділяються на три основні групи [1]:

- сталі помірної теплостійкості та підвищеної в'язкості, котрі застосовують в основному для молотових штампів, котрі працюють при високих швидкостях деформування;

– сталі підвищеної теплостійкості та в'язкості, які використовують головним чином для пресових штампів;

– сталі високої теплостійкості, котрі забезпечують стійкість інструменту при розігріві вище 650 °С.

Хімічний склад основних марок штампових сталей, що регламентовані ГОСТ 5950-73, наведено в таблиці 1.1 [4].

Таблиця 1.1 — Хімічний склад основних марок штампових сталей

| Сталь                                                 | Вміст основних елементів |           |         |           |           |            |
|-------------------------------------------------------|--------------------------|-----------|---------|-----------|-----------|------------|
|                                                       | C                        | Cr        | W       | Mo        | V         | інші       |
| Сталі помірної теплостійкості та підвищеної в'язкості |                          |           |         |           |           |            |
| 5ХНМ                                                  | 0,50-0,60                | 0,50-0,80 | –       | 0,15-0,30 | –         | 1,4-1,8 Ni |
| 4ХМФС                                                 | 0,37-0,45                | 1,50-1,80 | –       | 0,90-1,20 | 0,30-0,50 | 0,5-0,8 Si |
| 5Х2МНФ                                                | 0,46-0,53                | 1,50-2,0  | –       | 0,80-1,20 | 0,30-0,50 | 1,2-1,6 Ni |
| 3Х2МНФ                                                | 0,26-0,34                | 2,0-2,5   | –       | 0,40-0,60 | 0,25-0,40 | 1,2-1,6 Ni |
| Сталі підвищеної теплостійкості та в'язкості          |                          |           |         |           |           |            |
| 4Х5МФС                                                | 0,32-0,40                | 4,5-5,5   | –       | 1,2-1,5   | 0,8-1,1   | –          |
| 4Х5В2ФС                                               | 0,35-0,45                | 4,5-5,0   | 1,6-2,2 | –         | 0,6-0,9   | –          |
| 4Х4ВМФС                                               | 0,37-0,44                | 3,2-4,0   | 0,8-1,2 | 1,2-1,5   | 0,6-0,9   | <0,6 Ni    |
| 4Х3ВМФ                                                | 0,40-0,48                | 2,8-3,5   | 0,6-1,0 | 0,4-0,6   | 0,6-0,9   | –          |
| 4Х2В2МФС                                              | 0,42-0,50                | 2,0-2,5   | 2,0-2,4 | 0,8-1,1   | 0,6-0,9   | –          |
| 3Х3М3Ф                                                | 0,27-0,34                | 2,8-3,5   | –       | 2,5-3,0   | 0,4-0,6   | –          |
| Сталі підвищеної теплостійкості                       |                          |           |         |           |           |            |
| 3Х2В8Ф                                                | 0,30-0,40                | 2,2-2,7   | 7,5-8,5 | –         | 0,2-0,5   | –          |
| 4Х2В5МФ                                               | 0,30-0,40                | 2,2-3,0   | 4,5-5,5 | 0,6-0,9   | 0,6-0,9   | –          |
| 5Х3В3МФС                                              | 0,45-0,52                | 2,5-3,2   | 3,0-3,6 | 0,8-1,1   | 1,5-1,8   | –          |

Сталі, що відносяться до першої групи, містять невеликі кількості карбідоутворюючих елементів (Cr, W, Mo) та леговані підвищеною кількістю Ni та Mn для збільшення прогартовуваності та забезпечення підвищеної ударної в'язкості. За вмістом вуглецю ці сталі відносять до евтектоїдних або доевтектоїдних. Завдяки невеликій кількості легувальних елементів при відпуску в сталях цієї групи виділяється в основному легований цементит  $Me_3C$  і в невеликих кількостях (близько 3,0 %) — спеціальні карбіди  $Me_{23}C_6$ ,  $Me_6C$ , в сталях з ванадієм  $MeC$  [5].



Основна перевага цих сталей порівняно зі сталями підвищеної теплостійкості — менша карбідна неоднорідність і через це знижена чутливість до негативного впливу масштабного ефекту [4].

Ці сталі найчастіше використовують при виготовленні молотових штампів, котрі працюють при високих швидкостях деформування.

Сталі підвищеної теплостійкості і в'язкості на відміну від сталей помірної теплостійкості містять підвищену кількість карбідоутворюючих елементів при пониженому вмісті вуглецю: 0,3 – 0,4 %. У відпаленому стані в структурі сталей є карбіди типу  $Me_{23}C_6$ ,  $Me_6C$ ,  $MeC$ . Сталі цієї групи 4X5МФС, 3X3МЗФ, 4X4ВМФС та ін. Характеризуються більш високою теплостійкістю і міцністю при робочих температурах у порівнянні зі сталями помірної теплостійкості 5ХМН і 5ХМВ.

Підвищення температури нагріву під гартування збільшує теплостійкість сталі та твердість після гартування внаслідок розчинення карбіду  $Me_6C$ , однак при цьому значно зростає зерно аустеніту. Сталі з більшою відносною часткою карбідів  $Me_6C$  і  $MeC$  (4X4ВМФС) мають більш високу стійкість до перегріву [5].

Характерною особливістю сталей другої групи є комплексне легування і схильність до дисперсійного твердіння при відпуску в інтервалі температур 500 – 550 °С, що і є їх принциповою відмінністю від сталей типу 5ХНМ (5ХНВ) [1].

Ці сталі мають чутливість до впливу масштабного ефекту: вона більше, ніж у сталей першої групи. Їх в'язкість зі збільшенням діаметру (сторони) заготовок > 100 – 120 мм зменшується через збільшення неоднорідності в розподілі карбідів. Ці сталі не поступаються в напівтеплостійким 5ХНМ, 5ХНВ у в'язкості інструментів в невеликих середніх перерізах (до 60 – 80 мм), але значно перевершують їх в опорі пластичної деформації при підвищених температурах 300 – 400 °С [3].

Сталі типу 4X5МФС, 4X5В2ФС, 4X5МФ1С застосовують для інструментів, котрі працюють в умовах тривалих теплосмін до температур 600 – 630 °С (наприклад, для горизонтальних пресів — прес-штемпелі, голки для прошивання труб та ін.) Найбільш теплостійкі сталі 4X3ВМФ та 4X4ВМФС використовують для інструментів, котрі працюють в умовах високих питомих тисків (800 – 1500 МПа) та температур 650 – 660 °С (деформування корозійностійких та жароміцних сталей і сплавів) [5].

Теплостійкість третьої групи сталей сягає 660 – 680 °С [1]. Вони відрізняються більш високим вмістом карбідоутворюючих елементів: W, Mo, V. Сталі цієї групи характеризуються високою стійкістю до перегріву, що обумовлено наявністю важкорозчинних карбідів  $Me_6C$  та  $MeC$  [5]. Досягненню таким шляхом покращення теплостійкості та зносостійкості супроводжується зниженням в'язкості та розпалостійкості. Це і визначає область застосування сталей. Вони призначені для деформування металів з підвищеним опором пластичної деформації (зокрема, жароміцних), а також в умовах більш тривалого контакту з деформуємим металом, у тому числі для пуансонів видавлювання, але без інтенсивного охолодження і великих динамічних навантажень [3].

### 1.2.2 Структура та властивості після термічної обробки

Основну масу матриць для гарячого деформування виготовляють з попередньо прокатаних прутків або штанг.

Технологічний процес виготовлення штампового інструменту включає попередню термічну обробку, механічну обробку, остаточну термічну обробку, зачистку та шліфування робочих поверхонь матриці.

Попередня термічна обробка передбачає зниження твердості поковок для поліпшення оброблюваності різанням, подрібнення зерна, зниження залишкових напружень і підготовку структури до подальшого гартування.



Оптимальною структурою вважається зернистий перліт з рівномірним розподілом фаз.

Як попередню термічну обробку для матриць складної форми рекомендується проводити повний або ізотермічний відпал з отриманням структури зернистого перліту. Для високолегованих штампових сталей швидкість охолодження при повному відпалі не повинна перевищувати 30 °С/год.

Застосування ізотермічного відпалу є найбільш ефективним, що забезпечує мінімальне викривлення при гартуванні. Структура після ізотермічного відпалу більш однорідна, бо розпад аустеніту відбувається практично при постійній температурі. Температури нагрівання та ізотермічної витримки деяких сталей наведені в табл. 1.2. Завантаження проводять у піч з температурою не вище 600 °С.

Таблиця 1.2 — Температурні режими попередньої термічної обробки інструменту для гарячого деформування [4].

| Група сталей                                          | Марка сталі | Критичні точки, °С |                 | Ізотермічний відпал |                     |         |
|-------------------------------------------------------|-------------|--------------------|-----------------|---------------------|---------------------|---------|
|                                                       |             | A <sub>C1</sub>    | A <sub>C3</sub> | t <sub>н</sub> , °С | t <sub>в</sub> , °С | НВ      |
| Сталі помірної теплостійкості та підвищеної в'язкості | 5ХНМ        | 730                | 780             | 760-790             | 650-660             | 197-229 |
|                                                       | 5ХНВ        | 740                | 780             | 760-790             | 650-660             | 209-229 |
|                                                       | 4ХМФС       | 760                | 805             | 810-830             | 670-700             | 197-241 |
|                                                       | 4Х3ВМФ      | 760                | 820             | 850-860             | 650-660             | 197-229 |
| Сталі підвищеної теплостійкості та в'язкості          | 4Х4ВМФС     | 830                | 900             | 880-900             | 660-680             | 229-241 |
|                                                       | 4Х5МФС      | 840                | 870             | 840-860             | 670-690             | 187-241 |
| Сталі підвищеної теплостійкості                       | 3Х2В8Ф      | 800                | 850             | 860-880             | 660-700             | 229-269 |
|                                                       | 5Х3В3МФС    | 790                | 880             | 840-880             | 690-700             | 229-255 |

Метал з печі слід вивантажувати при температурі не більше 400 °С.

Для попередньої термічної обробки поковок використовують універсальні камерні або прохідні електричні та газові печі з автоматичним регулюванням теплового режиму.

Якість поковок повинно відповідати вимогам ГОСТ 5950-73. При цьому контролюється відсутність дефектів поверхні, що виявляються зовнішнім оглядом (тріщин, волосовин, заходів, полон та ін), внутрішні дефекти (ультразвуковим та іншими методами контролю), глибина знеуглецьованого шару, макроструктур (за зломом), твердість (НВ), мікроструктура, карбідна неоднорідність [4].

Метою остаточної термічної обробки є отримання в готовому інструменті оптимального поєднання основних властивостей: твердості, міцності, зносостійкості, в'язкості (для запобігання передчасного аварійного руйнування матриці) та теплостійкості.

Найбільш поширений технологічний процес остаточної термічної обробки матриць для гарячого деформування складається з гартування і відпускання.

Велика різноманітність умов роботи інструменту зумовлює не тільки застосування різних сталей, але і необхідність отримувати в кожному конкретному випадку оптимальну для даних умов поєднання властивостей за рахунок правильного вибору режимів термічної обробки. При цьому в залежності від призначення інструменту можливий вибір різних температур нагріву під гартування, гартівних середовищ та способів охолодження, температур відпуску. Зокрема, слід враховувати, що при підвищенні температури нагрівання під гартування зростає теплостійкість і прогартовуваність штампових сталей, але через укрупнення зерна знижується їх в'язкість. Тому, наприклад, для пресового інструменту, що працює з великим розігрівом, але без значних динамічних навантажень, доцільно підвищувати температуру нагрівання під гартування для отримання більшої теплостійкості.

Термічна обробка матриць здійснюється в універсальних камерних газових та електричних печах. У спеціалізованих відділеннях термічної обробки матриць доцільно застосування механізованих печей (з висувним

подом, з кулями на поду), або механізованих агрегатів періодичної дії, укомплектованих вбудованими гартівними баками і, що дозволяють використовувати контролюючі атмосфери.

Підготовка до термічної обробки включає: зовнішній огляд стану поверхні матриці (відсутність забоїн, іржі, слідів масла та ін.), підбір матриць з однієї марки сталі та близьких типорозмірів для комплектування садки (одночасно в піч для нагріву під гартування можна завантажувати до 10 комплектів матриць).

Нагрівання при гартуванні матриць здійснюють за одно- або двостадійним підігрівом (при 650 – 680 °С та 840 – 870 °С) для зменшення викривлення та запобігання утворення тріщин, температуру якого вибирають залежно від марки сталі та конструкції інструменту (табл. 1.3). Перший підігрів сприяє вирівнюванню температури по перерізу та зменшення теплових напружень, другий — створює умови для більш одночасного протікання фазових перетворень у всьому об'ємі деталі, що нагрівається. При повільному нагріванні під гартування підігрів необов'язковий.

Таблиця 1.3 — Температурні режими гарту та відпуску штампових сталей для гарячого деформування [4].

| Група сталей                                          | Марка сталі | Гартування   |                      |           |       | Відпускання |       |
|-------------------------------------------------------|-------------|--------------|----------------------|-----------|-------|-------------|-------|
|                                                       |             | t, °С        |                      | Бал зерна | HRC   | t, °С       | HRC   |
|                                                       |             | Підігрівання | Кінцевого нагрівання |           |       |             |       |
| Сталі помірної теплостійкості та підвищеної в'язкості | 5XHM        | 700-750      | 810-860              | —         | 56-60 | 560-580     | 36-39 |
|                                                       | 5XHB        | 700-750      | 810-860              | —         | 56-59 | 520-550     | 38-42 |
|                                                       | 4XMFС       | 700-750      | 910-930              | 10        | 53-55 | 580-600     | 44-45 |
|                                                       | 4X3BMФ      | 700-750      | 1010-1060            | 9-10      | 52-54 | 560-580     | 47-49 |
| Сталі підвищеної теплостійкості та в'язкості          | 4X4BMФС     | 700-750      | 1050-1070            | 10        | 55-61 | 620-630     | 47-50 |
|                                                       | 4X5MФС      | 700-750      | 1000-1020            | 10        | 50-52 | 530-560     | 47-49 |
| Сталі підвищеної теплостійкості                       | 3X2B8Ф      | 700-750      | 1070-1100            | 10        | 48-52 | 600-620     | 42-48 |
|                                                       | 5X3B3MФС    | 850-870      | 1120-1150            | 10        | 53-56 | 660-680     | 42-46 |



Температуру нагрівання під гартування призначають залежно від марки сталі та умов роботи інструменту, використовуючи наявні в літературі дані про твердість та величину зерна аустеніту при різних температурах гартування. Для відносно тихохідного пресового інструменту, що сильно розігрівається, доцільно підвищувати температуру гартування для підвищення теплостійкості сталі (при цьому допускається зерно 7-9 балів).

Тривалість нагрівання встановлюють з необхідності прогрівання матриці та достатньої насиченості аустеніту вуглецем та легувальними елементами. Недостатня витримка не забезпечує необхідної прогартуваності та теплостійкості, більш тривала — викликає ріст зерна і додаткове знеуглецювання. При посадці матриць в піч, нагріту до температури гарту, регламентують час витримки матриць, починаючи з моменту виходу печі на задану температуру. При розташуванні матриць на поду печі в один шар за висотою з відстанню між ними  $H/4$  час витримки  $\tau$  (хвилин) можна оцінити за емпіричною формулою:  $\tau = 6,6 \cdot H^{1,2}$ , де  $H$  — висота матриці.

Охолодження при гартуванні має бути досить швидким щоб запобігти виділення карбідів по межах зерен і утворення структури верхнього бейніту, що знижують в'язкість і пластичність сталі, а відповідно і працездатність інструменту. У зв'язку з цим охолодження на повітрі не рекомендується. Проте надмірно швидке охолодження збільшує ймовірність викривлення і тріщиноутворення. Практично необхідна інтенсивність охолодження в області температур виділення карбідів (850 – 750 °C) та в області проміжного перетворення (400 – 300 °C) забезпечується при гартуванні в маслі з температурою 40 – 70 °C. Для деталей складної форми рекомендується ступеневе охолодження: спочатку в розплавах солей при 400 – 500 °C з витримкою, що забезпечує вирівнювання температури по перерізу деталей, потім в маслі. Більш обґрунтований режим охолодження може бути призначений з використанням термодинамічних та ізотермічних діаграм розпаду переохолодженого аустеніту сталей, що використовуються та

температурного поля за перерізом в процесі охолодження (даних про тривалості охолодження різних зон перерізу деталей даного розміру).

Основним гартівним середовищем для матриць є мінеральне масло з температурою 40 – 70 °С. Матриці з піддонами вивантажують з печі, виймають з піддону, очищають робочу поверхню від карбюризатора, закріплюють матриці на підйомному пристрої і занурюють в масло. Загальний час витримки матриці в гартівному баці становить 13 – 17 хвилин на 100 мм найменшого розміру матриці.

Використовують інші методи гартування матриць — водо-повітряною сумішшю, з попереднім охолодженням у воді, а потім в маслі. У всіх випадках слід виймати матрицю з гартівного бака або пристосування при температурах 150 – 200 °С.

Необхідно охолоджувати інструмент в олії до 200 – 250 °С, що близько до температур початку мартенситною перетворення в штампових сталях, подальше охолодження — на повітрі. Негайна передача гарячих (150 – 250 °С) деталей на відпуск не рекомендується, бо це призводить до зниження міцності і в'язкості матриць через можливість появи бейніту в структурі сталі.

Відпуск матриць проводять відразу після завершення гартування, у будь-якому випадку не пізніше ніж через 2 години після гарту.

Для відпуску використовують соляні і масляні печі — ванни або електричні камерні та шахтні печі з примусовою циркуляцією пічної атмосфери і точним регулюванням температури (до  $\pm 10^{\circ}\text{C}$ ). Температуру відпуску вибирають залежно від марки сталі, умов роботи інструменту, необхідної твердості, міцності та в'язкості. Матриці слід піддавати двократному або багаторазовому відпуску через небезпеку появи тріщин в процесі роботи. Повторний відпуск виконують при температурі на 30...50 °С нижче температури першого відпуску.

Температури відпуску деяких штампових сталей наведено в табл. 2.3. Час відпуску призначають з розрахунку 2 години + 1,5 хвилини на 1 мм

найменшої товщини деталей. Для запобігання зворотньої відпускнуї крихкості охолодження після відпуску проводять на повітрі або в маслі.

Після шліфування інструменту доцільно провести відпал для зменшення внутрішніх напружень від шліфування при температурах на  $30 - 50\text{ }^{\circ}\text{C}$  нижче температури основного відпуску протягом 2 – 5 годин з охолодженням на повітрі або в маслі.

Після термічної обробки візуальним оглядом перевіряють відсутність тріщин, забоїн, вм'ятин та окалини на робочій поверхні матриці, а також її твердість. Твердість перевіряють на спеціально зачищених (бормашинним або наждачним папером) ділянках поверхні. Використовуються спеціальні стаціонарні прилади Бринеля, оснащені рольгангом та підйомним столом з черв'ячним механізмом [4].

Типовою термічною обробкою для сталей помірної теплостійкості є гартування з високим відпусканням на структуру тростит відпуску. У зв'язку з тим, що карбід  $\text{Me}_3\text{C}$  порівняно легко розчиняється при аустенізації, такі сталі, як 5ХНМ або 5ХНВ, необхідно нагрівати під гарт до невисокої температури (порядку  $920 - 950\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Сталі, леговані ванадієм та що містять крім цементиту, карбіди  $\text{Me}_6\text{C}$  і  $\text{MeC}$ , характеризуються більшою стійкістю до перегріву і можуть нагріватися під гарт до  $980-1020\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Структура, що отримується після гарту, залежить від складу сталі та розміру матриці. Як правило, в крупногабаритних інструментах при гартуванні отримують змішану мартенсито-бейнітну структуру, а також залишковий аустеніт. У загальному випадку бейнітна структура для штампових сталей менш бажана, ніж мартенситна, бо характеризується меншою теплостійкістю та меншою схильністю до дисперсійного твердіння. Крім того, утворення бейніту може призводити до зниження пластичності і ударної в'язкості [5].

У таблиці 1.4 наведено механічні властивості сталей помірної теплостійкості в залежності від температури випробування.



Таблиця 1.4 — Механічні властивості сталей помірної теплостійкості в залежності від температури випробування [1].

| Сталь  | $t_{\Gamma}, ^\circ\text{C}$ | $t_{\text{ВНП}}, ^\circ\text{C}$ | HRC   | $\sigma_B, \text{МПа}$ | $\sigma_{0,2}, \text{МПа}$ | $\delta, \%$ | $\Psi, \%$ |
|--------|------------------------------|----------------------------------|-------|------------------------|----------------------------|--------------|------------|
| 5ХНМ   | 860                          | 20                               | 44/33 | 1520/1040              | 1410/800                   | 9/10         | 41/42      |
|        |                              | 300                              | —     | 1290/1000              | 1150/790                   | 14/10        | 60/36      |
|        |                              | 600                              | —     | 520/560                | 360/490                    | 32/21        | 92/49      |
| 4ХСМФ  | 950                          | 20                               | 43/43 | 1510/1480              | 1350/1310                  | 13/7         | 51/20      |
|        |                              | 300                              | —     | 1350/1370              | 1190/1210                  | 12/8         | 50/27      |
|        |                              | 600                              | —     | 890/920                | 790/780                    | 19/10        | 73/45      |
| 3Х2МНФ | 930                          | 20                               | 42/42 | 1450/1470              | 1300/1320                  | 11/10        | 45/40      |
|        |                              | 300                              | —     | 1300/1370              | 1100/1110                  | 12/12        | 46/45      |
|        |                              | 500                              | —     | 1100/1110              | 860/850                    | 13/14        | 52/60      |
| 5Х2МНФ | 980                          | 20                               | 43/42 | 1480/1450              | 1380/1290                  | 12/12        | 43/36      |
|        |                              | 300                              | —     | 1270/1320              | 1110/1140                  | 13/14        | 55/48      |
|        |                              | 600                              | —     | 820/880                | 700—710                    | 21/17        | 77/68      |

Підвищення температури нагріву під гартування сталей підвищеної теплостійкості та в'язкості збільшує теплостійкість сталі, твердість після гартування внаслідок розчинення карбиду  $\text{Me}_6\text{C}$ , однак при цьому значно зростає зерно аустеніту. Сталі з більшою відносною часткою карбідів  $\text{Me}_6\text{C}$  і  $\text{MeC}$  (4Х4ВМФС) мають більш високу стійкість до перегріву. Твердість сталі після гартування залежить від вмісту в мартенситі вуглецю і легувальних елементів. Сталі цієї групи зазвичай гартують в маслі від температури аустенітизації, котра забезпечує найбільшу твердість при зберіганні розміру аустенітного зерна балу 9-10. У ряді випадків, коли визначальною властивістю є зносостійкість, температури аустенітизації можуть бути підвищені.

Сталі цієї групи є дисперсійнотвердіючими, максимум твердості в них досягається після відпуску при  $500 - 550^\circ\text{C}$  протягом 1,5 – 2 годин на структуру тростит відпуску, однак теплостійкість сталей залежить в основному не від рівня твердості, отриманої при дисперсійному твердінні, а від швидкості знеміцнення при більш високих температурах.

Міцнісні властивості теплостійких сталей при кімнатній температурі в основному визначаються твердістю і мало залежать від їх складу. Пластичність і ударна в'язкість сталей цієї групи знижуються зі збільшенням вмісту карбідоутворюючих елементів. Однак теплостійкі сталі 4X4BMФС і 4X3BMФ мають досить високі характеристики пластичності при кімнатній температурі при одночасно високому рівні міцнісних властивостей ( $\sigma_B = 1700-1800$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 1550-1650$  МПа,  $\psi = 40-45$  %). Найбільш теплостійка сталь 4X2B2MФС має ударну в'язкість приблизно в 2 рази нижче порівняно зі сталями 4X4BMФС і 4X3BMФ як при кімнатній, так і при підвищених температурах. Міцнісні властивості при підвищених температурах (до 600-610 °С) після обробки на твердість HRC 47-49 приблизно однакові для всіх сталей, що обумовлено достатньою стійкістю цих сталей до відпуску, невеликими розбіжностями в кількості карбідної фази та складу твердого розчину. Опір крихкому руйнуванню, а також опір термомеханічній втоми теплостійких сталей зростає із зменшенням міцності та підвищенням пластичності, зносостійкість при підвищених температурах в основному визначається теплостійкістю та міцністю сталі.

Зміна механічних властивостей сталей високої теплостійкості після гарту з оптимальних температур в залежності від температури відпуску та випробувань багато в чому аналогічні для розглянутих раніше сталей підвищеної теплостійкості [1].

Перетворення у цих сталях, що відбуваються при термічній обробці, багато в чому подібні з перетвореннями в швидкорізальній сталі. Ці сталі при гартуванні нагріваються до високих температур для розчинення якомога більшої кількості карбідів та отримання при гартуванні високолегованого дрібнозернистого мартенситу. Оскільки при температурі гартування карбіди повністю не розчиняються, сталі зберігають дрібне зерно. При відпуску твердість додатково підвищується внаслідок дисперсійного твердіння мартенситу, але одночасно знижується пластичність та в'язкість. Для

отримання достатньої в'язкості відпуск проводять при підвищених температурах, що відповідає утворення структури троститу [6].

У таблиці 1.5 наведено механічні властивості сталей високої теплостійкості в залежності від температури випробування.

Таблиця 1.5 — Механічні властивості сталей високої теплостійкості в залежності від температури випробування [1, 7].

| Сталь    | $t_{\text{випр}}, ^\circ\text{C}$ | $\sigma_B, \text{МПа}$ | $\sigma_{0,2}, \text{МПа}$ | $\delta, \%$ | $\Psi, \%$ |
|----------|-----------------------------------|------------------------|----------------------------|--------------|------------|
| 3X2B8Ф   | 20                                | 1600                   | 1450                       | 8            | 35         |
|          | 500                               | 1220                   | 1150                       | 11           | 42         |
|          | 600                               | 1180                   | 920                        | 10           | 32         |
| 4X2B5МФ  | 20                                | 1680                   | 1480                       | 10           | 42         |
|          | 500                               | 1230                   | 1120                       | 10           | 49         |
|          | 600                               | 1000                   | 900                        | 10           | 48         |
|          | 650                               | 820                    | 730                        | 11           | 37         |
| 5X3B3МФС | 20                                | 1680                   | 1500                       | 9            | 38         |
|          | 500                               | 1210                   | 1150                       | 9            | 45         |
|          | 600                               | 1020                   | 920                        | 10           | 45         |
|          | 650                               | 720                    | 610                        | 13,5         | 45         |
|          | 750                               | 410                    | 320                        | 20           | 72         |
|          | 850                               | 180                    | 135                        | 67           | 90         |

Вказані сталі є вториннотвердіючими, максимум твердості для них відповідає температурам відпуску 550 – 600 °С. Найбільш високу твердість (до HRC 52 – 54) та теплостійкість із сталей з карбідним зміцненням має сталь 5X3B3МФС, котра за стійкістю проти теплового знеміцнення значно перевищує сталі 3X2B8Ф та 4X2B5МФ. Більш висока теплостійкість цієї сталі обумовлена більшою насиченістю аустеніту вуглецем та карбідоутворюючими елементами, особливо ванадієм, після нагрівання під гартування і, як наслідок, виділенням великої кількості карбідів типу МС при наступному відпусканні [6].



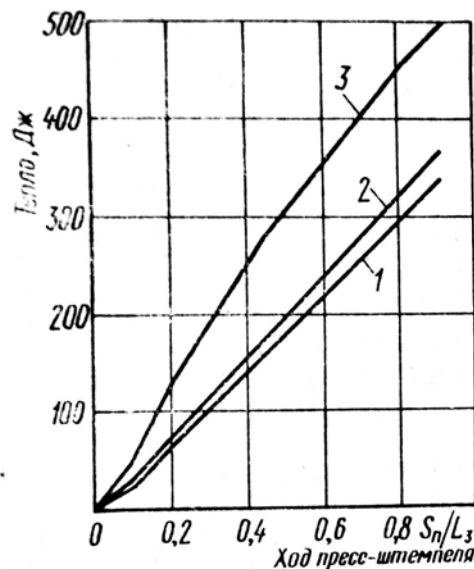
### 1.3 Результати експлуатації серійних штампових сталей

У процесах пластичної деформації температурні поля заготовки та інструменту взаємопов'язані. Вибір оптимальних температурно-кінематичних умов процесу дозволяє знизити температуру інструменту і збільшити його стійкість. Водночас раціональний вибір конструкції та вихідної температури інструменту дає можливість підвищити продуктивність процесу, поліпшити якість отриманих виробів [7].

Вихідне температурне поле в заготовці створюється при нагріванні. Змінюючи початкову температуру  $T_3$ , можна впливати на температурне поле, що отримується в процесі пластичної деформації [8,9]. При зниженні  $T_3$  збільшується швидкість виходу і знижується температура інструменту, проте надмірне зниження  $T_3$  призводить до збільшення необхідної потужності преса і питомих навантажень на інструмент. Тому в даний час застосовуються заготовки, нагріті з градієнтом температури по довжині [10,11].

Експерименти показали, що використовувані на пресі мод. ПБ8745-1 зливки діаметром  $D_3 \geq 240$  мм і довжиною  $L_3 \geq 500$  мм дозволяють зберегти перед пресуванням градієнт температур  $\Delta T \geq 90-100$  °С, а використання СПАТ дає можливість підтримати градієнт в заготовці і до кінця пресування, що дозволяє стабілізувати температуру інструменту [12].

На рисунку 3 наведені графіки виділення тепла для різних способів пресування, розрахованого за експериментальними силовими графіками. Максимальна кількість тепла виділяється при прямому способі пресування, а мінімальна — при зворотному пресуванні. При СПАТ тепловиділення на 0,5— 1,5 % вище, ніж при зворотному пресуванні.



1 – зворотнім; 2 – СПАТ; 3 – прямим способом

Рисунок 1.3.1 — Тепловиділення в заготовці в ході процесу пресування [14].

Зроблені висновки на основі дослідження кінематики течії матеріалу та аналізу енергосилових витрат про сприятливі температурні умови протікання процесу СПАТ були перевірені експериментально виміром температури інструменту. На першій стадії були проведені експерименти на модельній установці [13]. Вони дали можливість оцінити особливості теплової роботи інструменту при різних способах пресування. Але на основі цих досліджень не вдалося отримати основні залежності впливу різних параметрів процесу на температурні умови роботи інструменту.

На другому етапі були проведені промислові експерименти на пресі мод. ПБ8745-1 зусиллям 35 МН. Для дослідження використовували матрицю з зачеканеною в неї термopарою на відстані 20 мм від калібруючого отвору.

Одним з основних параметрів, що впливають на тепловиділення в процесі пресування, є швидкість деформування  $v_{\text{пр}}$  [7,8,9]. З підвищенням  $v_{\text{пр}}$  збільшується енергія, що витрачається, а отже, зростає виділення тепла. Найбільш істотне підвищення температури спостерігається при зміні швидкості пресування від 0 до 2–3 мм/с. На кожний приріст, що дорівнює 1 мм/с, температура зростає на 25–30 °С. При зміні вихідної температури

заготовки характер впливу швидкості пресування залишається попереднім, але загальна температура матриці збільшується. З підвищенням температури контейнера збільшується і вплив швидкості пресування на температуру матриці. Це особливо помітно при швидкостях пресування  $v_{\text{пр}} \geq 3 - 4$  мм/с.

З підвищенням температури заготовки  $T_3$  збільшується і температура матриці. Але ця залежність носить не прямолінійний характер, оскільки із збільшенням температури  $T_3$  одночасно підвищується і тепловідвід інструментом. Найбільш інтенсивна залежність  $T_M$  від  $T_3$  при невисоких швидкостях пресування  $v_{\text{пр}} < 2$  мм/с. Підвищення  $T_3$  від 260 до 420 °С призводить до збільшення  $T_M$  на 55–60 °С при  $v_{\text{пр}} = 1$  мм/с, а при  $v_{\text{пр}} = 6$  мм/с така ж зміна  $T_3$  призводить до зростання  $T_M$  на 25 – 30 °С.

Зміна температури контейнера призводить до зміни закономірності  $T_M = f(T_3)$ . При низькій температурі контейнера  $T_K = 310$  °С вплив  $T_3$  збільшується із зростанням температури останньої, а при  $T_K = 350$  °С найбільший вплив  $T_3$  надає при низьких температурах  $T_3 = 250 - 330$  °С.

Останнім часом в теорії пресування все більшу увагу стали приділяти визначенню напружено-деформованого стану металу в кожній точці осередку деформації. Багато дослідників відзначають, що кінематика руху металу зливка в контейнері досить складна і залежить від великої кількості параметрів, в тому числі від виду деформівного матеріалу, температури його нагрівання, характеру взаємодії з інструментом і т. д.

Як відомо, для вирішення крайової задачі пресування необхідне завдання граничних умов, зокрема теплових, тобто необхідно знати температуру інструменту [15]. Від циклу до циклу пресування ця температура може підвищуватися, оскільки тепловий потік теплопередачі від гарячої заготовки не встигає розсіятися. Разом з тим, в наявних дослідженнях такі нестационарні умови пресування найчастіше не враховуються.

Відмітна особливість пресування важких кольорових сплавів — великий перепад початкових температур зливка та інструменту і практично ідеальний контакт між ними, бо пресування більшості сплавів здійснюється

без теплоізоляції контейнера. Це призводить до локального розігріву контактних зон інструменту в процесі видавлювання до високої температури. Виникаючі температурні поля характеризуються значною нерівномірністю в радіальному і осьовому напрямках. Під час паузи відбуваються охолодження поверхневих шарів внаслідок тепловіддачі в навколишнє середовище і перерозподіл температури за перерізом інструменту (відведення теплоти від більш нагрітих до менш нагрітих ділянок).

Як правило, інструмент не встигає охолонути до вихідної температури і в процесі наступних циклів пресування спостерігається його розігрів. При цьому від циклу до циклу амплітуда коливань температури поверхневих шарів зменшується і поступово стабілізується. Сталий тепловий режим роботи інструменту характеризується (за умови ритмічної роботи преса) певною зміною температури в робочих шарах і постійністю розподілу температури в основному його обсязі.

В умовах підприємства ВАТ "Ревдинський завод по обробці кольорових металів" проведені вимірювання температури інструменту горизонтального гідравлічного преса силою 20 МН при пресуванні прутків з міді і латуні ЛС 59-1. Дана марка латуні обрана для дослідження в зв'язку з тим, що на заводах по обробці кольорових металів більшу частину прутків виготовляють саме з неї. Вимірювання проводили за допомогою хромель-алюмелевої термопари при пресуванні прутків діаметром 60 мм. Діаметр порожнини робочої втулки контейнера — 200 мм, зовнішній діаметр матриці — 114 мм, висота — 30 мм, матеріал матриці — сталь 3Х3МЗФ. Температура нагріву зливків з міді і латуні перед пресуванням становила 840...890 °С і 700...750 °С відповідно.

Цикл пресування — 50 с, час самого процесу пресування — 15 с, темп пресування — 60...70 зливків на годину.

На рисунку 1.3.1 показано зміну температури  $t_m$  робочої поверхні матриці в процесі роботи преса.



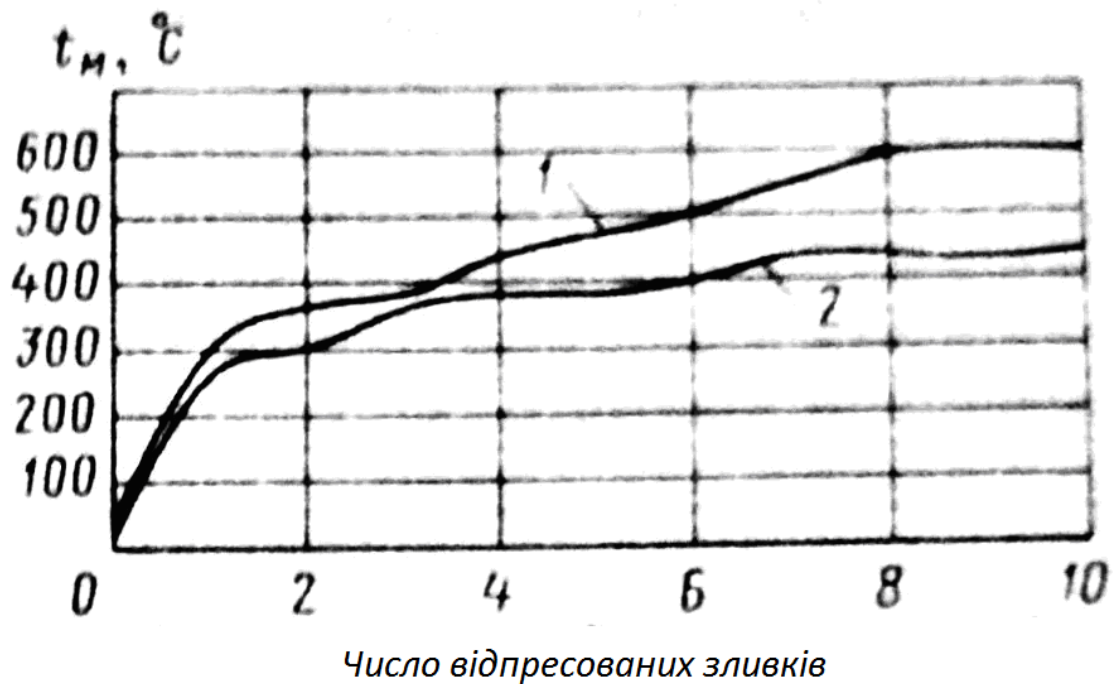


Рисунок 1.3.2 — Залежності температури робочих поверхонь матриці від кількості відпресованих зливків з міді (1) та латуні (2) [18].

Температуру вимірювали на ділянці переходу до калібруючого паску матриці безпосередньо після видалення прес-залишку. В роботах [16,17] вказано, що дана ділянка інструменту розігрівається до максимальних температур.

З малюнка видно, що температура матриці найбільш інтенсивно збільшується в процесі пресування перших двох зливків, а після пресування семи зливків температура матриці стабілізується. Слід зазначити, що при пресуванні міді і латуні рівень стабілізації цієї температури різний. Це можна пояснити тим, що температура нагріву латунних зливків приблизно на  $150\text{ }^\circ\text{C}$  менше температури нагріву мідних зливків. Однак у початковий період пресування різниця в температурних кривих розігріву матриці набагато менше  $150\text{ }^\circ\text{C}$  (див. рисунок), що важко пояснити з позиції більш високої теплопровідності міді. Дійсно, матеріал з більш високою теплопровідністю повинен більш активно передавати теплоту інструменту, оскільки зовнішні шари зливка, що остигають, більш активно підживлюються теплотою від

центральної шарів. Ця суперечливість відмічена в роботі [15] і пояснена аномально високим коефіцієнтом теплопередачі латуні (в порівнянні з міддю).

Пресові матриці працюють у важких температурних умовах. Залежно від конструкції матричного вузла і способу відділення прес-залишку час контакту матриці з пресованим металом становить 20...60 % всього часу циклу. Після відділення прес залишку матриця до початку пресування наступного зливка охолоджується на повітрі.

Практично ідеальний контакт матриці з металом, що пресується, призводить до розігріву не тільки робочих, але і поверхневих шарів матриці, що істотно послаблює конусну опорну поверхню матрицетримача, сприяючи його зминанню. Температура поверхні та внутрішніх шарів матриці в процесі пресування збільшується також через недостатньо ефективне відведення теплоти від матриці між циклами пресування.

Додатково проведені вимірювання температури поверхні матриці при пресуванні прутків діаметром 30 мм, при цьому розміри і температура нагріву зливків перед пресуванням залишалися незмінними. Однак був змінений темп пресування — 50...60 зливків на годину. Цикл пресування склав вже 60 с, а час пресування — 25 с. Вимірювання показали, що в сталому тепловому режимі роботи матриці її температура виявилася вище на 100...150 °C і досягла 700...750 і 550...600 °C при пресуванні міді і латуні відповідно. Отже, збільшення часу пресування від 15 до 25 с при зменшенні діаметра прес-виробу призводить до збільшення температури поверхні матриці приблизно на 150 °C в обох випадках.

На основі викладеного можна зробити висновок, що в багатоцикловому процесі навантаження температура поверхні матриці залежить від багатьох чинників, але основними з них є температура нагріву зливків перед пресуванням і темп пресування [18].

#### 1.4 Необхідність підвищення службових характеристик та напрямки розробки нових штампових матеріалів

Проблема підвищення терміну експлуатації інструменту для гарячого деформування металів є дуже важливим завданням для багатьох галузей промисловості, там, де інструмент працює в умовах інтенсивного абразивного зношування, високих температур і підвищеного навантаження.

Розглянуті серійні штампові сталі мартенситного класу з карбідним зміцненням не забезпечують необхідної стійкості інструментів, якщо вони при експлуатації нагріваються вище 730 – 750 °С. Наприклад, це відбувається при гарячому пресуванні прутків з Ni-Mo сплавів. Природа вказаного знеміцнення обумовлена тим, що по мірі наближення до  $A_{C1}$  суттєво зростає дифузійна рухливість атомів, що й призводить до зменшення опору пластичної деформації. Оскільки для серійних штампових сталей існує така принципова обмеженість теплостійкості, то вони не здатні експлуатуватись при більших температурах нагрівання.

Для більш високих температур необхідна розробка принципово нових матеріалів, котрі позбавлені цього недоліку.

## 1.5 Мета роботи та постановка задачі

Протягом усього процесу експлуатації у найбільш важких умовах працює пресова матриця, яка, крім високих тисків, циклічних знакозмінних навантажень, інтенсивного тертя, зазнає впливу високих температур. Розігрівання до температур вище 730 – 750 °С приводить до втрати працездатності серійних штампових сталей. Тобто, для визначення придатності теплостійких штампових сталей мартенситного класу, з яких виготовляється пресовий інструмент, важливим є дослідження температури їх розігрівання та ступеня знеміцнення. Ця інформація дозволить визначити можливість використання найбільш теплостійкої сталі марки 5Х3В3МФС (ДИ23) для виготовлення інструменту гарячого деформування. У випадку надзвичайно високої температури експлуатації ( $> 700$  °С) потрібно використовувати більш теплостійкі матеріали з більшою працездатністю.

Отже, метою даної роботи є дослідження знеміцнення та температури розігрівання поверхневих шарів матриць при гарячому пресуванні прутків славу Ni-Mo.

Дана мета реалізується шляхом вирішенням наступних задач:

- розгляд умов експлуатації пресових матриць при гарячому пресуванні;
- виготовлення зразків відпрацьованих матриць для визначення та дослідження температури нагрівання;
- дослідження мікротвердості та мікроструктури поверхневих шарів матриць;
- оцінка температури розігрівання та її впливу на поверхневі шари матриць;
- визначення доцільності використання штампової сталі та необхідності застосування інших більш працездатних матеріалів.



## 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Матеріали та технологія отримання

Матеріалом дослідження є серійна високотеплостійка штампова сталь мартенситного класу 5Х3В3МФС (ДИ23), що постачається із ПАТ «Дніпроспецсталь» у вигляді сортового прокату круглого перерізу ГОСТ 2590-2006. Хімічний склад представлений у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 — Хімічний сталі 5Х3В3МФС (ДИ23) згідно ГОСТ 5950-2000

| Вміст хімічного елементу, % (мас.) |         |         |       |       |         |      |      |         |         |         |           |
|------------------------------------|---------|---------|-------|-------|---------|------|------|---------|---------|---------|-----------|
| C                                  | Si      | Mn      | S     | P     | Cr      | Cu   | Ni   | W       | Mo      | V       | Nb        |
| 0,45-0,52                          | 0,5-0,8 | 0,2-0,5 | ≤0,03 | ≤0,03 | 2,5-3,2 | ≤0,3 | ≤0,4 | 3,0-3,6 | 1,6-2,2 | 1,5-1,8 | 0,05-0,15 |

### 2.2 Виготовлення зразків для досліджень

Сортовий прокат поставляється у відпаленому стані. Матриці виготовляли з прутка діаметром 120 мм. Приблизна сучасна схема технологічних операцій виготовлення матриць для пресування профілів з нікелевих сплавів, що забезпечують одержання високої якості поверхні, складається з наступних операцій: відрізання заготовки від сортового прокату; чорнової обробки різанням залишаючи припуск на остаточну обробку до 1 мм; гартування (1100 °C) та дворазове відпускання (660 °C та 610 °C) на структуру тростут відпуску з максимальною твердістю 47-49 HRC; здійснення чистової обробки після фрезерування калібруючого отвору; рідинної обробки на хонінгувальній установці з подачею полірувальної маси під тиском протягом декількох хвилин (маса складається з води і пилоподібного абразиву і забезпечує високу чистоту робочих поверхонь матриці).

Дослідження мікротвердості та мікроструктури проводились на відпрацьованих матрицях. Ескіз матриць наведено на рис. 2.1.

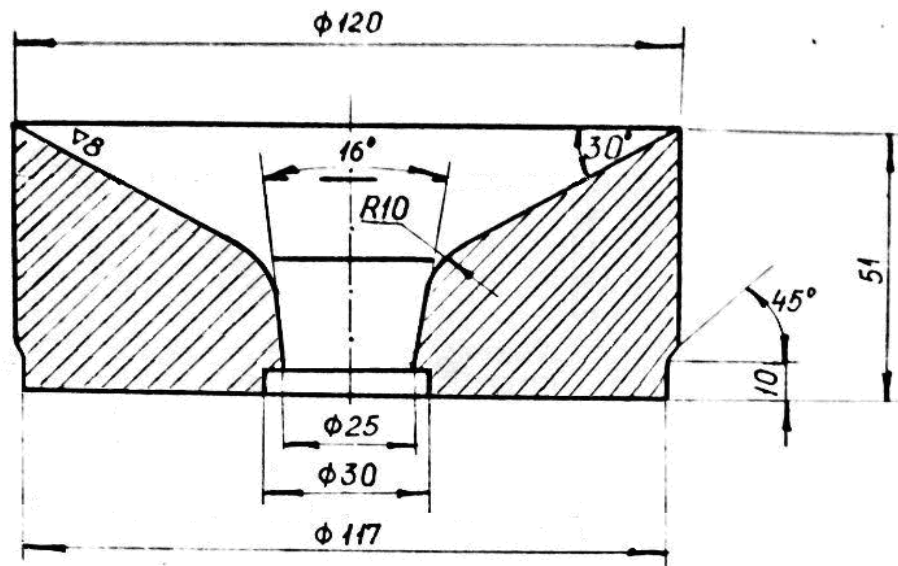


Рисунок 2.1 — Ескіз матриць зі сплаву 5Х3В3МФС

Умови експлуатації пресових матриць були наступні: пресували прутки зі сплаву Ni-Mo на вертикальному гідравлічному пресі потужністю 6 кН, температура пресування сягала 1250 °С.

Відпрацьовані матриці розрізали в повздовжньому напрямку, потім готували темплети, з яких отримували мікрошліфи. Далі заливали керамічну масу в протакрил для запобігання дефектів завалів на краю мікрошліфа.

### 2.2.1 Вимірювання мікротвердості

Мікротвердість вимірювали на приладі ПМТ-3. Метод регламентований ГОСТ 9450-76. Індентор — алмазна чотиригранна піраміда з кутом  $\alpha$  між протилежними гранями при вершині  $136^\circ \pm 20'$ .

Зразки для вимірювань готуються так само, як мікрошліфи для металографічних досліджень (шліфують та полірують). При підготовці досліджуваної поверхні необхідно вжити заходів обережності проти можливої зміни її твердості внаслідок нагрівання або наклепу в результаті механічної обробки. Поверхня зразків — полірована ( $R_a$  мкм по ГОСТ 2789-73).

При вимірюванні мікротвердості використовували навантаження 0,196 Н. Витримували під навантаженням не менше 3 с. Вибір місця визначення мікротвердості та вимірювання розмірів відбитків проводили за допомогою мікроскопа. В залежності від навантаження по таблицям визначали мікротвердість. Таблиці з числами мікротвердості для різних навантажень та інденторів приведені в ГОСТ 9450-76.

### 2.2.2 Дослідження мікроструктури

Мікроструктуру досліджували на просвічувальному та растровому електронних мікроскопах.

Використовували просвічувальний електронний мікроскоп УЕМВ-100К, що призначений для різноманітних структурних і дифракційних досліджень. Це п'ятилінзовий мікроскоп високої роздільної здатності (8 А).

Дослідження проводились з використанням вуглецевих реплік (зліпок) з поверхні добре відполірованих і протравлених мікрошліфів (непрямий метод електронномікроскопічних досліджень металів і сплавів). Репліка повністю відтворює рельєф поверхні мікрошліфу. Товщина репліки повинна бути близько 0,01 мкм.

Отримували репліки у такий спосіб: спочатку металографічний шліф травили в електроліті певного складу, а саме: 20 г –  $\text{CuSO}_4$ , 5 мл –  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 10 г – лимонної кислоти, 65 г – дистильованої води. Потім на глибоко щавленій поверхні зразка при напиленні вуглецем у вакуумі утворюється вуглецева плівка, яку далі відокремлюють в електролітичному 2% розчині  $\text{H}_2\text{SO}_4$  у метиловому спирті та промивають у воді. При відокремленні репліки від зразка в ній залишаються дисперсні частинки карбідів та зберігається рельєф поверхні.

Для отримання зображень зразка в електронному мікроскопі необхідно провести такі операції:

- досягти високий вакуум в колоні мікроскопа;
- одержати зображення електронного пучка та від'юстувати всі лінзи.

– ввести зразок у камеру і встановити патрон у посадочне гніздо об'єктивної лінзи.

– сфокусувати отримане зображення і сфотографувати його.

Дослідження проводили також на растровому електронному мікроскопі «Стереоскан С4», призначеного для дослідження та аналізу мікроструктурних характеристик сплавів. Він дозволяє одержувати зображення мікрорельєфу поверхні зразків з високою роздільною здатністю і значною глибиною різкості.

Виготовлення шліфів для дослідження на РЕМ здійснюється так само, як і на оптичному мікроскопі. Однак є і деякі особливості. Велика глибина різкості зображення в РЕМ дозволяє отримувати додаткову інформацію, проводячи глибоке травлення шліфів. Зразки повинні бути електропровідними. Перед випробуванням зразки були ретельно очищені, щоб не утворювалися газоподібні продукти, що утруднюють отримання необхідного вакууму при відкачуванні мікроскопа та забруднюють його колону.

### З ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ МАТРИЦЬ ЗІ СПЛАВУ 5Х3В3МФС (ДИ23)

Питання щодо зменшення експлуатаційних характеристик матриць в процесі гарячого пресування сплавів є досить важливим. Аналіз причин виходу матриць з ладу показав, що основними факторами, котрі обмежують їх працездатність, є знос, налипання матеріалу, який пресується та утворення грубих тріщин в області калібруючого отвору, що призводило до виникнення на пресвиробках (прутках) грубих рисок. Середня стійкість матриць становила не більше шести пресувань.

Для оцінки ступеня знеміцнення та температур розігрівання при гарячому пресуванні проведені дослідження відпрацьованих матриць, виготовлених зі серійної високотеплостікої штампової сталі мартенситного класу 5Х3В3МФС (ДИ23). Термічна обробка цієї сталі полягає в гартуванні (1150 °С) та наступному відпусканні (650 °С) на структуру тростит відпуску з максимальною твердістю 47-49 HRC. Досліджено відпрацьовані матриці після гарячого пресування прутків зі сплаву Ni-Mo (1210 – 1230 °С).

Зовнішній вигляд матриці, котра вийшла з ладу, наведено на рис 3.1.

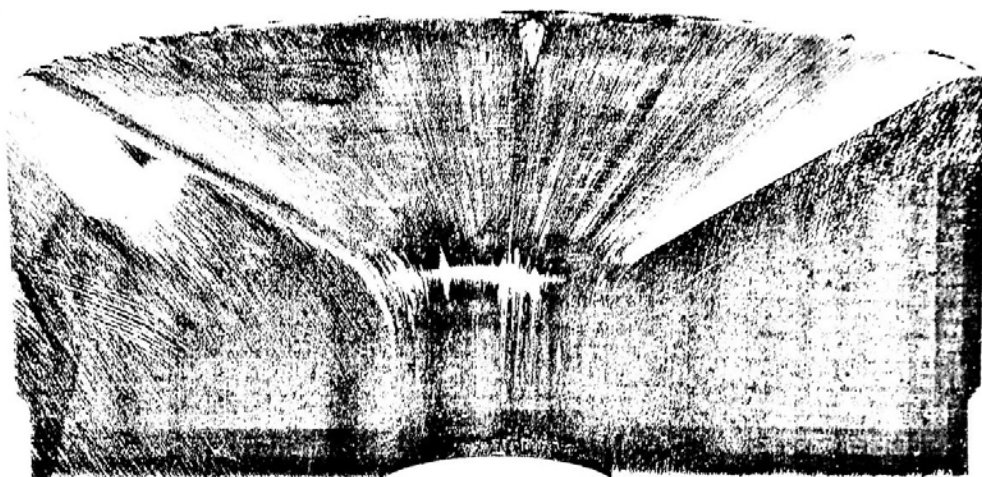


Рисунок 3.1 — Відпрацьована матриця зі сталі 5Х3В3МФС



Вздовж калібруючого отвору помітні сліди зносу та виступи, що утворилися внаслідок налипання пресуємого матеріалу.

Для вивчення ступеня і характеру знеміцнення робоча поверхня матриць розбивалась на 15 ділянок, середини котрих пронумеровані та відмічені рисками, як зображено на рис. 2,а. На кожній ділянці проводилась серія вимірювання мікротвердості, починаючи від краю робочої поверхні вглиб матриці до області, що відповідає вихідному стану матеріалу. Ширина окремої ділянки і відстань між рядами вимірювань мікротвердості становили 2,5 мм. Декотрі характерні залежності мікротвердості від відстані до робочої поверхні матриць зі сталі ДИ-23 наведені на рис. 2,б.

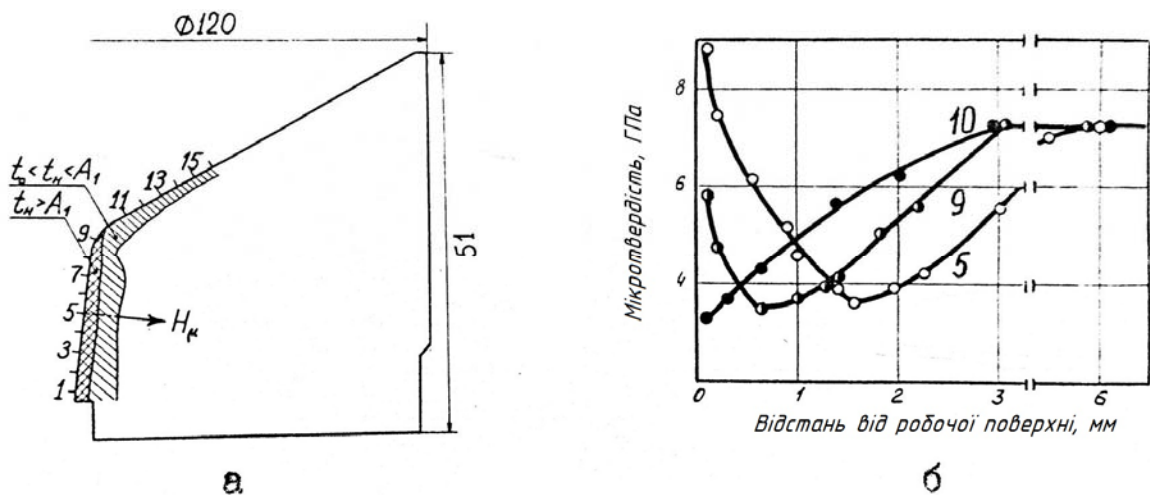
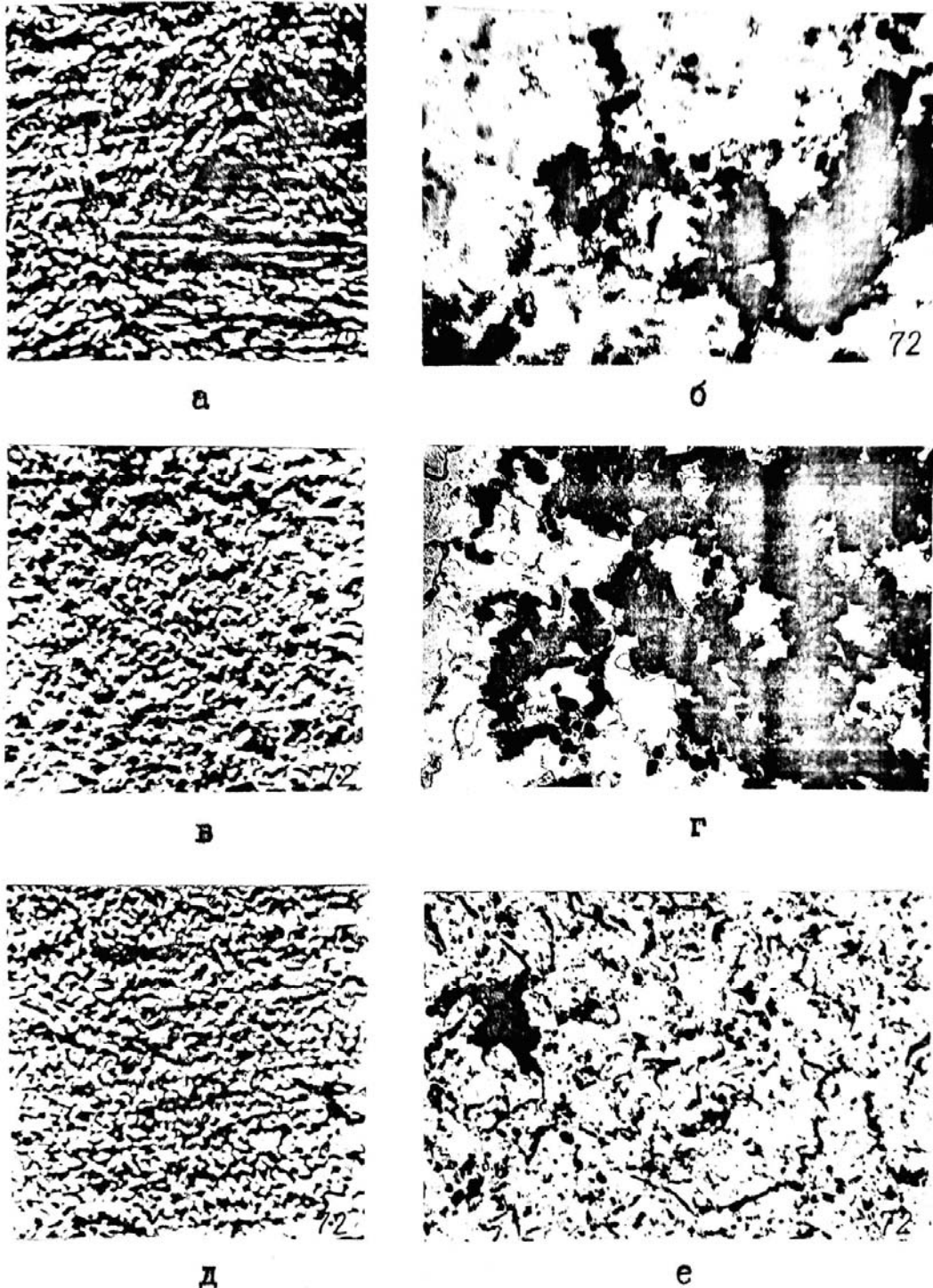


Рисунок 3.2 — Результати досліджень відпрацьованих матриць

Для ділянок з 1 по 8 характер зміни мікротвердості близький до залежності, що виражено кривою 5, котра має мінімум на відстані 1,6 мм від робочої поверхні. При переході до ділянки 9 мінімум зсувається майже на 1 мм до осі ординат. Для ділянок з номерами більше 9 мінімуми на кривих відсутні. В цьому випадку спостерігалось лише зниження мікротвердості по мірі наближення до робочої поверхні матриць, причому зі збільшенням номеру досліджуваної ділянки зниження менш значне.

Описані зміни мікротвердості, очевидно, обумовлені розігрівом в процесі роботи ділянок, котрі прилягають до робочої поверхні, до різних

температур та протіканню в них відповідних фазових перетворень. Це підтверджується наведеними на рис. 3.3 результатами електронно-мікроскопічних досліджень мікроструктури.



а, б - вихідний стан; в, г - область мінімальної мікротвердості; д, е - біля робочої поверхні; а, в, д -  $\times 1600$  (електронно-растрове зображення зі шліфу); б, г, е -  $\times 20000$ .

Рисунок 3 — Мікроструктури відпрацьованої матриці зі сталі 5X3B3MFC

У вихідному стані ( $H_{\mu} = 7,2-7,3$  ГПа) мікроструктура термооброблених за стандартним режимом матриць являла собою тростит відпуску з незначною кількістю відносно великих і великою кількістю високодисперсних ( $100-200 \text{ \AA}$ ) карбідів (рис. 3, а, б). По мірі наближення до робочої поверхні мікротвердість знижується до  $3,2-3,5$  ГПа в областях, що відповідають мінімумам на кривих 5 та 9 і у самої робочої поверхні на ділянці 10 (рис. 2,б). Таке зниження мікротвердості обумовлене розчиненням і коагуляцією дрібнодисперсних карбідів внаслідок значного нагріву відповідних ділянок матриці. Дійсно, як видно з рис.3, г, в цьому випадку в структурі спостерігаються переважно карбіди діаметром  $1000 \text{ \AA}$ , тобто майже на порядок вище у порівнянні з вихідним станом. Зростання мікротвердості в міру наближення до робочої поверхні лівіше мінімуму на кривих ділянок 1–8 та 9 свідчить про нагрівання відповідних областей матриць в процесі роботи вище температури  $\alpha \rightarrow \gamma$  перетворення та наступного їх повітряного гартування. Мікротвердість при цьому тим більше, чим вище була температура зазначених областей. Мікроструктура їх зображена на рис. 3, д, е, в результаті бейнітно-мартенситного перетворення набуває дрібноголчастий характер. Спостерігаються при цьому карбіди досить дрібнодисперсні – розмір багатьох з них не перевищує  $100 \text{ \AA}$ . Виділення їх, мабуть, відбулося в процесі охолодження з аустенітної області.

Відзначимо, що відповідно до розшифровки мікроелектронограм у всіх розглянутих станах (рис.3, б, г, е) спостерігалися переважно карбіди типу МС.

За результатами проведених вимірювань мікротвердості та досліджень мікроструктури були визначені межі областей поблизу робочої поверхні матриць, що нагріваються в процесі експлуатації до різних температур. Подвійним штрихуванням на рис. 2, а показана область нагріву матриць до температур  $\alpha \rightarrow \gamma$  перетворення, яка становить для сталі марки 5ХЗВЗМФС  $780^{\circ}\text{C}$ . Глибина такого розігрівання найбільш навантажених ділянок, що мають номери нижче 9, сягає  $1,5-1,7$  мм. Розігрівання області з одинарним

штрихуванням відбувалося до температур, котрі перевищують температуру відпускання, але нижче  $A_1$ , тобто між 650 та 780 °C. Тепловому знеміцненню внаслідок розігрівання до вказаних температур піддаються дільниці, що знаходяться на відстані до 5-6 мм від робочої поверхні матриць.

Проведені дослідження доводять, що нагрівання робочої поверхні матриць відбувається вище температур поліморфного  $\alpha \rightarrow \gamma$  перетворення сталі 5X3B3MFC, що обмежує її використання для виготовлення пресових матриць гарячого пресування.

Таким чином, необхідно обрати більш працездатні штампові сталі або сплави для виготовлення таких матриць. До сплавів, що мають найбільший опір знеміцненню при нагріванні та більший рівень високотемпературної міцності відноситься, зокрема, жароміцний сплав на Fe-Ni основі з ГЦК ґраткою ХН35ВТЮ (ЭИ787). Так, при температурі 750 °C границя міцності такого сплаву складає 750 МПа проти 410 МПа для сталі 5X3B3MFC.

#### 4 РОЗРОБКА РЕЖИМУ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ МАТРИЦЬ ЗІ СТАЛІ 5Х3В3МФС (ДИ-23)

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

Вище було вказано, що для сплаву 5Х3В3МФС (ДИ-23) основними операціями термічної обробки є гартування та дворазовий відпуск. До допоміжних операцій слід віднести промивання виробів від мастил, очищення поверхні від окалини, рихтування та контрольні операції.

Термічна обробка полягає у гартуванні при температурі  $1150 \pm 10$  °С, витримка приблизно 1 год., охолодження в мінеральній олії; після гартування проводять високотемпературне перше відпускання при температурі  $660 \pm 10$  °С, охолодження на повітрі, також друге відпускання ( $610 \pm 10$  °С) проводять з охолодженням на повітрі.

Нагрівання виробів в захисній атмосфері для запобігання окислення, зневуглицювання та знелегування поверхні з застосуванням захисної атмосфери дозволяє виключити операції очищення, забезпечує економію матеріалів, зменшує енергетичні витрати, підвищує культуру виробництва.

Структура сталі після відпалу — дрібнозернистий перліт з невеликою кількістю надлишкових карбідів. Вміст карбідної фази в цій сталі сягає 10 – 13 % і представлена вона переважно карбідами  $M_6C$  та  $MC$ . Гартування при високій температурі  $1150 \pm 10$  °С проводиться з метою розчинення найбільш можливої кількості вуглецю та карбідів в твердому розчині, тобто з метою отримання пересиченого твердого розчину. Витримка при високих температурах для завершення фазових претворень, прогрівання деталі та отримання зерна необхідних розмірів. Охолодження при гартуванні повинно



бути достатньо швидким щоб запобігти виділення карбідів по межах зерен та утворення структури верхнього бейніту, котрі знижують в'язкість та пластичність сталі. Однак надмірно швидке охолодження збільшує ймовірність короблення та тріщиноутворення. Основним гартівним середовищем для пресових матриць є мінеральна олія з температурою 40 – 70 °C.

Наступна операція термічної обробки матриці пресування зі сталі 5X3B3MΦC (ДИ-23) — дворазовий відпуск при температурах 660±10 °C та 610±10 °C відповідно. Відпуск сталі дозволяє перевести структуру в більш стабільний стан, зняти внутрішні напруження після гартування та механічної обробки, а також зменшити вміст залишкового аустеніту після гартування. Для забезпечення необхідної в'язкості твердість повинна бути 47 – 49 HRC, тому відпуск проводять при температурах вище температур дисперсійного твердіння.

Структура після термічної обробки (гартування + дворазове відпускання) буде : тростит відпуску з незначною кількістю відносно великих і великою кількістю високодисперсних (100-200Å) карбідів.

Для здійснення термічної обробки пресової матриці зі серійної високотеплостійкої штампової сталі мартенситного класу 5X3B3MΦC (ДИ-23) обираємо печі СНЗ–4.8.2,5/9 (попереднє підігрівання), СНЗ–4.8.2,5/12 (гартування) та СНЗ–4.8.2,5/7 (високотемпературне відпускання).

СНЗ – 4.8.2,5/\* – електрична, камерна піч з захисним робочим середовищем. \* – максимальна температура.

Розміри пресової матриці складають: діаметр – 120 мм, висота – 51 мм.

Розробимо схему садки виробів в обраних печах. Вироби розміщують на квадратних піддонах розміром 400x400 мм.

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

$$n_{III} = \frac{III}{d + d/2} (\text{шт.}); \quad n_{III} = \frac{400}{120 + \frac{120}{2}} = 2,22 = 2 (\text{шт.})$$

де III – ширина робочого піддону, 400 мм;

d – діаметр заготовки, 120 мм;

d/2 – відстань між виробами, 60 мм.

$$n_D = \frac{D}{d + d/2} (\text{шт.}); \quad n_D = \frac{400}{120 + \frac{120}{2}} = 2,22 = 2 (\text{шт.})$$

де D – довжина піддону, 600мм;

d – діаметр заготовки, 120 мм;

d/2 – відстань між виробами, 60 мм.

Отже на одному ярусі піддону буде:

$$n_{\text{яp.н.}} = n_{III} \cdot n_D (\text{шт.}); \quad n_{\text{яp.н.}} = 2 \cdot 2 = 4 (\text{шт.})$$

Тоді на одному ярусі буде:

$$n_{\text{яp.}} = 2 \cdot n_{\text{яp.н.}} (\text{шт.}); \quad n_{\text{яp.}} = 2 \cdot 4 = 8 (\text{шт.})$$

Розрахуємо кількість ярусів виробів в печі:

$$K_{\text{яp.}} = \frac{H}{h + h/2} (\text{яp.}); \quad K_{\text{яp.}} = \frac{250}{51 + \frac{51}{2}} = 3,27 = 3 (\text{яp.})$$

Отже загальна кількість виробів в печі:

$$N_{\text{вир}} = K_{\text{яp.}} \cdot n_{\text{яp.}}; \quad N_{\text{вир}} = 3 \cdot 8 = 24 (\text{шт.})$$

Розрахуємо масу садки виробів в печі:

$$M_C = N_{\text{вир}} \cdot m_{\text{вир}}; \quad M_C = 24 \cdot 4,5 = 108 (\text{кг})$$

$$\text{де } m_{\text{виробу}} = 3,14 \cdot 0,06^2 \cdot 0,051 \cdot 7800 = 4,5 (\text{кг}).$$

Розрахуємо тривалість нагрівання попереднього підігрівання пресових матриць зі сталі 5Х3В3МФС (ДИ-23):

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

де S – характеристичний розмір виробу, мм;

k – коефіцієнт форми (k=0,75);

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

L<sub>л</sub> – коефіцієнт легування сплаву, хвилин/мм (L<sub>л</sub> = 2,35).

Розрахуємо характеристичний розмір розташування виробів в печі:

$$S = \frac{h}{2}; \quad S = \frac{51}{2} = 25,5(\text{мм});$$

де S – характеристичний розмір виробів;

h – найменший розмір виробу, що прогрівається (обираємо висоту матриці пресування 51 мм).

Отже тривалість нагріву при попередньому підігріванні виробу буде становити:

$$\tau_{н.поч.} = 25,5 \cdot 0,75 \cdot 1,4 \cdot 1,895 = 50,74(\text{хвилин})$$

Визначимо час витримки при попередньому підігріванні:

$$\tau_{в.поч.} = 1,5 \cdot 25,5 = 38,25(\text{хвилин})$$

Розрахуємо тривалість нагрівання при гартуванні:

$$\tau_{н.г.} = \tau_{н.поч.} / 2$$

Отже:

$$\tau_{н.г.} = 50,74 / 2 = 25,37(\text{хвилин})$$

Швидкість охолодження в мінеральній олії складає V<sub>ох</sub>=50 °C/хвилину., тому тривалість охолодження при гартуванні складатиме:

$$\tau_{ох.г.} = \frac{t_n - t_k}{V_{охл.}}; \quad \tau_{ох.г.} = \frac{1150 - 20}{50} = 22,6(\text{с}) = 0,377(\text{хвилин})$$

де t<sub>п</sub> – початкова температура (t<sub>п</sub> = 1150 °C);

t<sub>к</sub> – кінцева температура (t<sub>к</sub> = 20°C).

Отже загальний час гартування:

$$\tau_{заг.} = \tau_{н.поч.} + \tau_{в.поч.} + \tau_{н.г.} + \tau_{в.г.} + \tau_{ох.};$$

$$\tau_{заг.} = 50,74 + 38,25 + 25,37 + 38,25 + 0,377 = 153(\text{хвилини})$$

де  $\tau_{н.поч.}$  – час нагрівання при попередньому підігріванні, хвилин;

$\tau_{в.поч.}$  – час витримки при попередньому підігріванні, хвилин;

$\tau_{н.г.}$  – час нагрівання до заданої температури, хвилин;

$\tau_{в.г.}$  – час витримки при технологічній температурі, хвилин;

$\tau_{ох}$  – час охолодження, хвилин.

Наступною операцією є дворазове відпускання, тому виходячи з попередніх розрахунків розрахуємо загальний час операції аналогічно.

Тривалість нагрівання при першому відпусканні:

$$\tau_n = 25,5 \cdot 0,75 \cdot 1,4 \cdot 2,35 = 62,92(\text{хвилини})$$

Тривалість витримки при відпусканні ( $\tau_v$ ) регламентована умовами термічної обробки та становить 40 хвилин; тобто  $\tau_{в.г} = 40(\text{хвилин})$ .

Розрахуємо час охолодження:

$$V_{охол. на пов.} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{с};$$

$$\tau_{ох.г.} = \frac{t_n - t_k}{V_{охол.}}; \quad \tau_{ох} = \frac{660 - 20}{5} = 128(\text{с}) = 2,13(\text{хвилини})$$

де  $t_n$  – початкова температура ( $t_n = 660 \text{ } ^\circ\text{C}$ );

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

Отже загальний час при першому відпусканні:

$$\tau_{заг} = \tau_n + \tau_v + \tau_{ох}; \quad \tau_{заг} = 62,92 + 40 + 2,13 = 105,05(\text{хвилин})$$

Тривалість нагрівання при другому відпусканні:

$$\tau_n = 25,5 \cdot 0,75 \cdot 1,4 \cdot 2,35 = 62,92(\text{хвилини})$$

Тривалість витримки при другому відпусканні ( $\tau_v$ ) призначають на 25% менше (на 10 хв.), ніж при першому. Отже,  $\tau_v = 30(\text{хвилин})$ .

Розрахуємо час охолодження:

$$V_{охол. на пов.} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{с};$$

$$\tau_{ox.2.} = \frac{t_n - t_k}{V_{охол.}}; \quad \tau_{ox} = \frac{610 - 20}{5} = 118(c) = 1,97(хвилина)$$

де  $t_n$  – початкова температура ( $t_n = 610\text{ }^{\circ}\text{C}$ );

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

Отже загальний час при другому відпусканні:

$$\tau_{заг} = \tau_n + \tau_{\theta} + \tau_{ox}; \quad \tau_{заг} = 62,92 + 30 + 1,97 = 94,89(хвилин)$$

Отже сумарна тривалість процесу гартування буде складати 2 години 33 хвилини, в той час як операція дворазового відпускання буде тривати 3 години. 20 хвилин.

На рисунку 4.1 показана схема термічної обробки пресової матриці зі сталі 5Х3В3МФС.

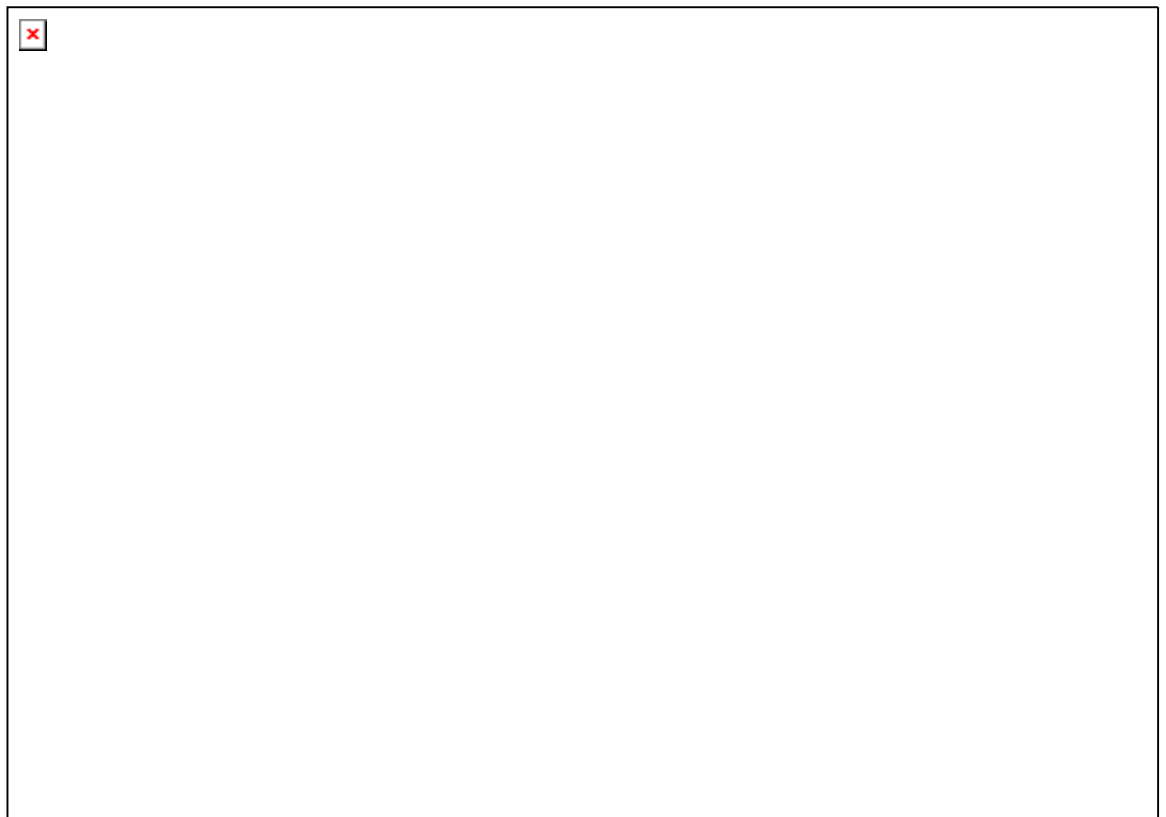
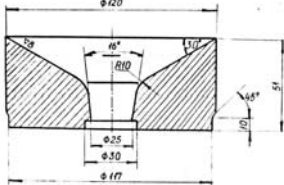


Рисунок 4.1 – Схема термічної обробки пресової матриці зі сталі 5Х3В3МФС

В таблиці 4.1 наведено типовий технологічний процес термічної обробки пресової матриці зі серійної високотеплостійкої штампової сталі мартенситного класу 5Х3В3МФС (ДИ-23).



Таблиця 4.1 — Технологічний процес термічної обробки пресової матриці зі серійної високотеплостійкої штампової сталі мартенситного класу 5Х3В3МФС (ДИ-23).

| Ескіз виробу                                                                      |                          | Технологічні вимоги до матеріалу виробу після термічної обробки |                                                                                                    |                   |                                       |                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
|  |                          | Матеріал                                                        | HRC                                                                                                | $\sigma_B$ , МПа  | Теплос-тійкість, °С                   | Мікроструктура                                                              |
|                                                                                   |                          | 5Х3В3МФС (ДИ-23)                                                | 47-49                                                                                              | 1600              | 685                                   | T <sub>В</sub> +K                                                           |
| № операції                                                                        | Назва операції, переходу | Обладнання, прилади пристосування                               | Умови нагріву                                                                                      | Умови охолодження | Назва технологічного пристосування    | Умови оброблення при здійсненні контрольних та додаткових операцій          |
| 1                                                                                 | 2                        | 3                                                               | 4                                                                                                  | 5                 | 6                                     | 7                                                                           |
| 1.                                                                                | Вхідний контроль         |                                                                 |                                                                                                    |                   |                                       |                                                                             |
| 1.1                                                                               | Хім. склад матер.        | Стилоскоп                                                       |                                                                                                    |                   |                                       | 2..3 вироби від загальної кількості 2..3 вироби 37 HRC                      |
| 1.2                                                                               | Мікроструктура           | Мікроскоп                                                       |                                                                                                    |                   |                                       |                                                                             |
| 1.3                                                                               | Твердість                | Твердомір ТК-2                                                  |                                                                                                    |                   |                                       |                                                                             |
| 1.4                                                                               | Розміри виробу           | Штангенциркуль                                                  |                                                                                                    |                   |                                       |                                                                             |
| 2.                                                                                | Гартування               |                                                                 |                                                                                                    |                   |                                       |                                                                             |
| 2.1                                                                               | Попередній нагрів        | СНЗ—4.8.2,5/9                                                   | t <sub>п</sub> =20°C, t <sub>к</sub> =750±10°C, τ <sub>н</sub> =51 хв.,<br>Захисне робоче середов. |                   | 2 піддони, кількість виробів – 24 шт. | Кількість виробів у садці, витрати захисного середовища, τ <sub>н</sub> , t |
| 2.2                                                                               | Витримка                 | СНЗ—4.8.2,5/9                                                   | τ <sub>в</sub> =38 хв.,<br>Захисне робоче середов.                                                 |                   | 2 піддони, к-ть вир. – 24 шт.         | Витрати контролю атмосфери, τ <sub>в</sub> , t                              |

| 1   | 2                                   | 3                                 | 4                                                                                                                                            | 5                                                                                                                               | 6                                     | 7                                                                                                                      |
|-----|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.3 | Нагрів до технологічної температури | СНЗ–<br>4.8.2,5/12                | $t_{\text{п}}=850^{\circ}\text{C}$<br>$t_{\text{к}}=1150\pm 10^{\circ}\text{C}$ ,<br>$\tau_{\text{н}}=25$<br>хв.,<br>Захисне робоче середов. |                                                                                                                                 | 2 піддони, кількість виробів – 24 шт. | Витрати захисного середовища, $\tau_{\text{н}}, t$                                                                     |
| 2.4 | Витримка                            | СНЗ–<br>4.8.2,5/12                | $\tau_{\text{в}}=38$<br>хв.,<br>Захисне робоче середов.                                                                                      |                                                                                                                                 | 2 піддони, к-ть вир. – 24 шт.         | Витрати контролю атмосфери, $\tau_{\text{в}}, t$                                                                       |
| 2.5 | Охолодження                         | Гартівний бак з мінеральною олією |                                                                                                                                              | $t_{\text{п}}=1150^{\circ}\text{C}$<br>$t_{\text{к}}=20^{\circ}\text{C}$ ,<br>$\tau_{\text{ох}}=0,4$<br>хв.,<br>Мінеральна олія | 2 піддони, кількість виробів – 24 шт. | Склад охолоджуючого середовища, $t_{\text{к}}=20^{\circ}\text{C}$ , час                                                |
| 3.  | Контрольна вихідна                  | Мікроскоп МИМ-7                   |                                                                                                                                              |                                                                                                                                 |                                       | Мікроструктура (М + А <sub>зал</sub> (10-15%) + К)                                                                     |
| 4.  | Очищення                            |                                   |                                                                                                                                              |                                                                                                                                 |                                       |                                                                                                                        |
| 4.1 | Промивання                          | ММТ                               |                                                                                                                                              |                                                                                                                                 |                                       | (100% $\text{H}_2\text{O}+5\ldots 8\%\text{Na}_2\text{CO}_3$ ;<br>$t=80-90^{\circ}\text{C}$ ;<br>$\tau=5\ldots 10$ хв. |
| 4.2 | Полоскання                          |                                   |                                                                                                                                              |                                                                                                                                 |                                       | 100% $\text{H}_2\text{O}$ ;<br>$t=30\ldots 40^{\circ}\text{C}$ ;<br>$\tau=5\ldots 10$ хв;                              |
| 4.3 | Просушування                        |                                   |                                                                                                                                              |                                                                                                                                 |                                       | Гаряче повітря;<br>$t=110-120^{\circ}\text{C}$ ;<br>$\tau=5$ хв                                                        |
| 5.  | Контроль твердості                  | ТК-2                              |                                                                                                                                              |                                                                                                                                 |                                       | 2...3 вироби, HRC 54-58                                                                                                |

| 1   | 2                          | 3                                  | 4                                                                                                                       | 5                                                                                                                  | 6                                              | 7                                                                                          |
|-----|----------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6.  | Перше відпускання          |                                    |                                                                                                                         |                                                                                                                    |                                                |                                                                                            |
| 6.1 | Нагрів                     | СНЗ–<br>4.8.2,5/7                  | $t_n=20^{\circ}\text{C}$ ,<br>$t_k=660\pm 10^{\circ}\text{C}$ ,<br>$\tau_n=63$<br>хв.,<br>Захисне<br>робоче<br>середов. |                                                                                                                    | 2 піддони,<br>кількість<br>виробів –<br>24 шт. | Кількість<br>виробів у садці,<br>витрати<br>захисного<br>середовища, $\tau_n$ , t          |
| 6.2 | Витрим-<br>ка              | СНЗ–<br>4.8.2,5/7                  | $t_b=660\pm 10^{\circ}\text{C}$ ,<br>$\tau_b=40$<br>хв.,<br>Захисне<br>робоче<br>середов.                               |                                                                                                                    | 2 піддони,<br>кількість<br>виробів –<br>24 шт. | Витрати<br>контролю<br>атмосфери, $\tau_b$ , t                                             |
| 6.3 | Охолод-<br>ження           |                                    |                                                                                                                         | $t_n=660^{\circ}\text{C}$<br>$t_k=20^{\circ}\text{C}$ ,<br>$\tau_{ox}=2$<br>хв.,<br>Повітря-<br>не сере-<br>довище | 2 піддони,<br>кількість<br>виробів –<br>24 шт. | $t_k=20^{\circ}\text{C}$ , час                                                             |
| 7.  | Конт-<br>рольна<br>вихідна | ТК-2,<br>метало-<br>граф,<br>МИМ-7 |                                                                                                                         |                                                                                                                    |                                                | HRC 45-47,<br>мікроструктура<br>( $T_b + A_{зал}$<br>(7-8%) + K),<br>наявність<br>дефектів |
| 8.  | Друге відпускання          |                                    |                                                                                                                         |                                                                                                                    |                                                |                                                                                            |
| 8.1 | Нагрів                     | СНЗ–<br>4.8.2,5/7                  | $t_n=20^{\circ}\text{C}$ ,<br>$t_k=610\pm 10^{\circ}\text{C}$ ,<br>$\tau_n=63$<br>хв.,<br>Захисне<br>робоче<br>середов. |                                                                                                                    | 2 піддони,<br>кількість<br>виробів –<br>24 шт. | Кількість<br>виробів у садці,<br>витрати<br>захисного<br>середовища, $\tau_n$ , t          |
| 8.2 | Витрим-<br>ка              | СНЗ–<br>4.8.2,5/7                  | $t_b=660\pm 10^{\circ}\text{C}$ ,<br>$\tau_b=30$<br>хв.,<br>Захисне<br>робоче<br>середов.                               |                                                                                                                    | 2 піддони,<br>кількість<br>виробів –<br>24 шт. | Витрати<br>контролю<br>атмосфери, $\tau_b$ , t                                             |

| 1   | 2                  | 3                       | 4 | 5                                                                                                                              | 6                                     | 7                                                                          |
|-----|--------------------|-------------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 8.3 | Охолодження        |                         |   | $t_{\text{п}}=610^{\circ}\text{C}$<br>$t_{\text{к}}=20^{\circ}\text{C}$ ,<br>$\tau_{\text{ох}}=2$ хв.,<br>Повітряне середовище | 2 піддони, кількість виробів – 24 шт. | $t_{\text{к}}=20^{\circ}\text{C}$ , час                                    |
| 9.  | Контрольна вихідна | ТК-2, металограф, МИМ-7 |   |                                                                                                                                |                                       | HRC 47-49,<br>мікроструктура ( $T_{\text{в}} + K$ );<br>наявність дефектів |

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ

### 5.1 Тенденції розвитку світового ринку технологій

Ринок інструментальних сталей в Україні залежить від ситуації в машинобудуванні і цін на легувальні елементи.

Після спаду, який тривав з 2005р. до середини 2006р., на ринку інструментальних сталей (далі — ІС — прим. авт.) України почалося деяке пожвавлення. Причиною тому, за даними ВАТ"Дніпроспецсталь" (ДСС), стало підвищення попиту на ІС з боку вітчизняного машинобудування. Обсяг зростання склав ок. 4-5%.

За оцінкою фахівців ДСС, обсяг внутрішнього ринку інструментальних сталей становить 4,8 тис. т, або 56 млн.грн. рік. З них на частку власне інструментальних сталей припадає 4,4 тис. т, або 44 млн.грн. у рік, швидкорізальних сталей — 0,4 тис. т, або 12 млн.грн. рік. Сумарно ж обсяг українського ринку (з урахуванням експорту) ІС за останні два-три роки, за оцінками директора Українського державного науково-дослідного інституту спеціальних сталей, сплавів та феросплавів (Укрндіспецсталь) Юрія Тернового, коливається в межах 20-25 тис. т.

На розвиток попиту з боку машинобудування впливає як зростаюче споживання його продукції на зовнішніх ринках, так і загальний розвиток української економіки.

Основним виробником інструментальних сталей в Україні є ДСС. На її частку припадає не менше 70-75% внутрішнього ринку ІС. Малотоннажним виробником високолегованих ІС, перш за все швидкоріза і штампових сталей, в т. ч. ексклюзивного бароко, є Укрндіспецсталь, що має більш оперативні і гнучкі можливості в постачанні партій 0,1 і 5 т розносортиці. Укрндіспецсталь постачає на український ринок до 5% високолегованих ІС. Єдиним потенційним конкурентом в сегменті вуглецевих марок стали серед внутрішніх виробників на ДСС називають ММЗ "Істіл (Україна)". Імпортна



ж продукція на українському ринку представлена російськими виробниками-це перш за все" Іжсталь "і"Електросталь". Але їх частка на українському ринку незначна. Також останнім часом зрідка і в малих кількостях з'являється китайський продукт. Інші фірми-постачальники, не маючи своїх значущих виробництв, є посередниками, каже Ю. Терновий і додає, що у зв'язку з низьким попитом на високолеговані сорти ІС конкуренція в цьому сегменті внутрішнього ринку неактуальна.

Як вважає Ю. Терновий, внутрішній ринок споживання високолегованих інструментальних сталей стабільно низький через слабкість машинобудування відповідального призначення і, як наслідок, низьку затребуваність в металообробці. Основні споживачі високолегованих сталей на внутрішньому ринку — українські підприємства авіабудівної та оборонної галузей. Очевидно, тут деклароване зростання більш цінове, ніж фізичне. Так що конкуренція на внутрішньому ринку у зв'язку з цим неактуальна. Найбільш ємний ринок споживання — російський, і він все більше орієнтується на інші джерела в основному на західноєвропейські.

Сьогодні, каже Ю. Терновий, зробити чіткий прогноз про перспективи ринку неможливо. Загальна тенденція за останні 16 років-це зниження показників виробництва в Україні зі 105тис.т ІС в 1991р. до нинішніх набагато скромніших цифр. І не варто розраховувати, що ситуація зламається в бік настільки ж активного росту. Ціни ж на інструментальні стали коливаються в досить широкому діапазоні навіть протягом дня (сьогодні — тонна ІС коштує 10 тис. грн., а найпростіших з високолегованих БС-50 тис. грн.) і залежать від вартості легуючих добавок. Так що будь-який ціновий прогноз був би не більше ніж здогадкою [20, 21, 22].

## 5.2 Техніко-економічні розрахунки

Метою цього розділу є порівняння використання для матриць гарячого пресування серійної штампової сталі 5Х3В3МФС (ДИ-23) та жароміцного

сплаву ХН35ВТЮ (ЭИ787). В таблиці 5.1 вказані техніко-економічні показники виробів.

Таблиця 5.1 — Техніко-економічні показники виробів

| Показник                   | Базовий виріб                                                             | Новий виріб                                                               |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 1. Пресова матриця         | 5Х3ВЗМФС (ДИ-23)                                                          | ХН35ВТЮ (ЭИ787)                                                           |
| 2. Технологія виготовлення | Відрізання заготовки від сортового прокату, обробка різанням, полірування | Відрізання заготовки від сортового прокату, обробка різанням, полірування |
| 3. Програма випуску, т.    | 3                                                                         | —                                                                         |

Основна заробітна плата основних виробничих робітників на одиницю виробу розраховується на основі трудомісткості виготовлення та часових тарифних ставок. Розрахунок основної заробітної плати на одиницю продукції наведений в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 — Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка)

| Найменування операції | Норма часу, хвилин | Розряд робітника | Часова тарифна ставка, грн. | Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка), грн. |
|-----------------------|--------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------|
| Відрізання            | 10                 | II               | 35                          | 5,95                                                  |
| Обробка різанням      | 30                 | III              | 38                          | 19                                                    |
| Шліфування            | 20                 | II               | 36                          | 12                                                    |
| Усього                | 60                 | —                | —                           | 36,95                                                 |

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

$$ЗД = ЗО \cdot \frac{K_{\text{д}}}{100} = 36,95 \cdot \frac{40}{100} = 14,78(\text{грн.})$$

де  $K_{\text{д}}$  – процент додаткової заробітної плати.

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

$$ВС = (ЗО + ЗД + ПП) \cdot \frac{K_{\text{вс}}}{100} = (36,95 + 14,78 + 18,475) \cdot \frac{22}{100} = 70,2 \cdot 0,22 = 15,44(\text{грн.})$$

де ПП – премії з прибутку (50%), грн.;

$K_{\text{вс}}$  – % відрахування на соціальні заходи.

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

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

$$ЗВВ = ЗО \cdot \frac{\alpha}{100} = 36,95 \cdot \frac{400}{100} = 147,8(\text{грн.})$$

де  $\alpha$  – % загальновиробничих витрат.

Вищенаведені витрати складають виробничу собівартість.

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

Адміністративні витрати складають в середньому 400% від основної заробітної плати основних виробничих робітників та розраховуються за формулою:

$$AB = ZO \cdot \frac{\beta}{100} = 36,95 \cdot \frac{400}{100} = 147,8(\text{грн.})$$

де  $\beta$  – % адміністративних витрат.

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

$$BZ = C_v \cdot \frac{\gamma}{100} = 214,97 \cdot 0,02 = 4,3(\text{грн.})$$

де  $C_v$  – собівартість виробнича, грн.;

$\gamma$  – % витрат на збут.

Калькуляція собівартості і ціни продукції наведена в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 — Калькуляція собівартості механічної обробки і ціни виробу

|   | Статті витрат                                                                      | Сума, грн. |
|---|------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1 | Основна заробітна плата основних виробничих робітників                             | 36,95      |
| 2 | Додаткова заробітна плата основних виробничих робітників                           | 14,78      |
| 3 | Відрахування на соціальні заходи з заробітної плати основних виробничих робітників | 15,44      |
| 4 | Загальновиробничі витрати                                                          | 147,8      |
| 5 | Собівартість виробнича                                                             | 214,97     |
| 6 | Адміністративні витрати                                                            | 147,8      |
| 7 | Витрати на збут                                                                    | 4,3        |
| 8 | Собівартість повна                                                                 | 367,07     |

Економічний ефект від зменшення витрат на виготовлення інструменту розраховується за такою формулою:

$$E_g = K \cdot C_1 - C_2 = (8 \cdot 214,97 - 1,2 \cdot 367,07) \cdot 3 = 3837,83(\text{грн})$$

де  $K$  – коефіцієнт підвищення стійкості зі сплаву ЭП787 в порівнянні зі сталлю ДИ-23 ( $K=8$ );

$C_1$  – собівартість виготовлення матриці зі сталі ДИ-23;

$C_2$  – собівартість виготовлення матриці зі сплаву ЭИ787.

Економічний ефект від зменшення кількості металу на виготовлення інструменту розраховується за такою формулою:

$$E = C_6 \cdot K - C_n = 3 \cdot 102985 - 0,375 \cdot 693570 = 48866,25(\text{грн.})$$

Де  $C_6$  – собівартість виготовлення матриці зі сталі ДИ-23, грн./т;

$C_n$  – собівартість виготовлення матриці зв сплаву ЭИ787, грн./т;

$K$  – коефіцієнт підвищення стійкості зі сплаву ЭП787 в порівнянні зі сталлю ДИ-23 ( $K=8$ ).

Таким чином, можна зробити висновок, що застосування жароміцного сплаву ХН35ВТЮ (ЭИ787) для виготовлення пресових матриць, замість серійної високотеплостійкої штампової сталі 5Х3В3МФС (ДИ-23), дозволяє при гарячому пресуванні прутків зі сплаву Ni-Mo підвищити загальну стійкість матриць у 8 разів.

Відповідно до отриманих результатів, фактори, що забезпечують економічний ефект при використанні, замість серійної високотеплостійкої штампової сталі 5Х3В3МФС, сплаву ХН35ВТЮ слід віднести:

- зменшення витрат матеріалу на інструмент в кількісному вираженні;
- зменшення витрат на виготовлення інструменту.

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи з охорони праці, при дослідженні знеміцнення та температури розігрівання поверхневих шарів матриць при гарячому пресуванні прутків славу Ni-Mo.

### 6.1 Аналіз потенційних небезпек

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

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

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

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

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

д) небезпеки, які пов'язані з дослідженням мікроструктури на електронно-просвічувальному мікроскопі УЕМВ-100К, зокрема негативний вплив електромагнітного випромінювання;



е) небезпеки, які пов'язані з дослідженням мікроструктури на растровому електронному мікроскопі «Стереоскан С4», зокрема негативний вплив іонізуючих випромінювань, що може привести до розвитку тяжких захворювань;

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

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

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

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

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

## 6.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

а) Для запобігання ураження електричним струмом передбачено:

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

– Технічні заходи: усі не ізольовані струмопровідні елементи електрообладнання повинні бути надійно огорожено суцільними

огородженнями, зняття або відкриття, яких можливе тільки за допомогою спеціальних пристроїв; розташування струмоведучих ланцюгів виконується на недоступній висоті (при напрузі до 1000 В - не менше 3,5 м; при напрузі більше 1000 В - не менше 6 м); обов'язковим є наявність захисного заземлення з опором не більше 4 кОм.

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

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

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

в) Для запобігання механічних травм при підготовці зразків до випробування механічних властивостей або мікроструктури, необхідно виконувати вимоги інструктажів з охорони праці при роботі на металообробному обладнанні згідно ДНАОП 1.1.10-1.04-01 «Правила безпечної роботи з інструментом і пристосуваннями», ГОСТ 12.3.028-82 «Процесс обработки абразивными и эльборовым инструментом» зокрема, установка абразивних кіл на верстатах повинна проводитися тільки спеціально проінструктованими наладчиками, використання абразивних кіл з

дефектами заборонено, абразивні кола повинні мати штамп або наклейку про випробування, порядковий номер кола і підпис особи, відповідальної за випробування, біля кожного верстата необхідно вивісити табличку із зазначенням допустимої роботи колової швидкості використовуваних кіл і частоти обертання шпинделя верстата в хвилину, при обертанні абразивного кола, виступаючі кінці шпинделя і кріпильні деталі захистити захисними кожухами, підручники повинні мати достатній за величиною майданчик для стійкого положення оброблюваного виробу. Зазор між краєм підручника і робочою поверхнею шліфувального круга повинен бути не більше 3 мм; використовувати індивідуальні засоби захисту зокрема, для виключення травмування органів зору передбачено застосування захисних окулярів.

г) Для запобігання хімічним опікам використовувати індивідуальні засоби захисту:

- окуляри захисні згідно ГОСТ 12.4.001 - 80 «ССБТ. Очки защитные.»;
- фартухи гумові захисні згідно ГОСТ 12.4.029-76 «Фартуки специальные. Технические условия»
- рукавиці гумові згідно ГОСТ 12.4.103 - 79 «ССБТ. Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты рук и ног»

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

Заходи безпеки при роботі з твердоміром:

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

д) Електронно-просвічувальний мікроскоп УЕМВ-100К являє собою

складний прилад, що вимагає кваліфікаційного обслуговування.

- Однією з мір захисту від електромагнітного випромінювання є нормування їх напруженості у відповідності ДСН 3.3.6.096-2002 «Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів », винос потужного технологічного обладнання за межі робочої зони.

- До виконання робіт допускаються особи, що ознайомлені з правилами технічної експлуатації та безпеки обслуговування електроприладів. Експлуатація та профілактика прибору повинна виконуватись під керівництвом інженера або техника, що розуміються в налагодженні приладу в цілому та окремих його частин.

е) Електронний мікроскоп «Стереоскан С4», має потужне джерело іонізуючих випромінювань, що як наслідок негативно впливає на організм людини при зовнішньому опромінюванні. Зовнішнє опромінювання — це дія на організм іонізуючих випромінювань від зовнішніх відносно нього джерел випромінювання. Під дією іонізуючих випромінювань в організмі людини відбувається іонізація молекул і атомів тканини, порушується хімічна структура сполук, утворюються сполуки, не властиві живій клітині, що в свою чергу призводить до її відмирання. Зміни фізичних і біологічних процесів в організмі залежно від дози опромінювання.

Для попередження шкідливої дії іонізуючих випромінювань необхідно усувати всяку можливість опромінювання організму дозами, які перевищують гранично допустимі. Ступінь ураження радіоактивними речовинами організму людини залежить від ряду чинників: виду випромінювання (альфа-, бета-, гамма-промені і т. ін.); кількості ізотопу (активності); його властивостей (енергії частинок в період піврозпаду та ін.); шляхів попадання в організм людини та його індивідуальної чутливості.

Для захисту від зовнішнього опромінювання, яке має місце при роботі із закритими джерелами випромінювання, основні зусилля необхідно направити на попередження переопромінення персоналу шляхом:

- збільшення відстані між джерелом випромінювання і людиною (захист

відстанню);

- скорочення тривалості роботи в зоні випромінювання (захист часом);
- екранування джерела випромінювання (захист екранами).

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

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

За характером трудової діяльності виділено три професійні групи, згідно з ДК 003:2010 «Національний класифікатор України. Класифікатор професій»: група А - робота зі зчитування інформації з екрана з попереднім запитом; група Б - робота з уведення інформації; група В - творча робота в режимі діалогу із ПК.

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

При 8-годинній робочій зміні й роботі на ПК регламентовані перерви для другої категорії робіт варто встановлювати через 2 години від початку робочої зміни й через 1,5-2,0 години після обідньої перерви тривалістю 15 хвилин кожна або тривалістю 10 хвилин через щогодини роботи.

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

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

Регламентовані перерви й мікропаузи доцільно використовувати для виконання комплексу вправ і гімнастики для очей, пальців рук, а також масажу, які наведені у Державних санітарних правилах і нормах роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

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

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

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



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

При цьому враховується вимога, що при виконанні в приміщеннях робіт I–III, IVa, IVб, IVв, Va розрядів слід застосовувати систему комбінованого освітлення. Використання системи загального освітлення передбачено при технічній неможливості або недоцільності влаштування місцевого освітлення при узгодженні з органами державного санітарного нагляду. При комбінованому освітленні доля загального повинна складати не менше 10%.

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

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

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

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

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

Продуктивність природної вентиляції:

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

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

$V_n$  – об'єм приміщення, м<sup>3</sup>.

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

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

де  $a$  та  $b$  – розміри зонта в плані, м;

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

Об'єм повітря, що видаляється від витяжних шаф:

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

де  $F$  – площа робочого отвору (відкритих проїомів та нещільностей), м<sup>2</sup>;

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

Отже продуктивність природної вентиляції складатиме 11900 м<sup>3</sup>/год., об'єм повітря, що відсмоктується витяжним зонтом – 2041 м<sup>3</sup>/год, а об'єм повітря, що видаляється від витяжних шаф – 9720 м<sup>3</sup>/год.

#### 6.4 Заходи з пожежної безпеки

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

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

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

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

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

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

- автоматичних сигналізаторів про пожежу;
- системи пожежної сигналізації.

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

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

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

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

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

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

У разі виникнення пожежі у приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ для евакуації персоналу відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» передбачені виходи, по обидві сторони приміщення, з одного боку вікно (на пожежні сходи), а з іншого – вхідні двері. Згідно п. 2.29 (табл. 2) СНиП 2.09.02-85\* «Производственные здания», відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу не обмежується.

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

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

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

Оскільки приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) що обладнане ПК з ВДТ має площу 39 м<sup>2</sup>, тому відповідно до вимог п. 5 розділу VI «Вибір типу та необхідної кількості вогнегасників»,

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

#### 6.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

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

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

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

Комплекс заходів по захисту від СДОР включає:

- Інженерно-технічні заходи щодо зберігання і використання СДОР;
- Підготовку сил і засобів для ліквідації хімічно небезпечних аварій;
- Навчання їх порядку і правилам поведінки в умовах виникнення аварій;

- Оповіщення про безпосередню загрозу поразки СДОР;
- Тимчасову евакуацію з небезпечних районів;
- Хімічну розвідку району аварії;
- Пошук і надання медичної допомоги постраждалим;
- Локалізацію та ліквідацію наслідків аварії.

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

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



## ВИСНОВКИ

1. При гарячому пресуванні прутків з нікелевого сплаву використовують матриці, що виготовляють зі серійної високотеплостікої штампової сталі мартенситного класу 5Х3В3МФС (ДИ23).

2. Аналіз причин виходу матриць з ладу показав, що основними факторами, котрі обмежують їх працездатність, є знос, налипання матеріалу, який пресується та утворення грубих тріщин в області калібруючого отвору, що призводило до виникнення на пресвиробках (прутках) грубих рисок.

3. В результаті проведених досліджень було отримано криві залежності мікротвердості від відстані до робочої поверхні матриці. За результатами аналізу ходу кривих встановлено, що матриці піддаються розігріванню до температур, які перевищують температуру відпуску сталі ДИ23 на глибину до 6 мм, при чому зниження мікротвердості тим більше, чим вище температура розігрівання. Розігрівання вище температури початку  $\alpha \rightarrow \gamma$  перетворення відбулося до глибини 1,6 мм ( $A_{C1} = 780^\circ\text{C}$ ).

4. Якщо в процесі експлуатації температура розігрівання ділянок матриці перевищує температуру поліморфного перетворення  $\alpha \rightarrow \gamma$  штампової сталі, з якої виготовлено інструмент, то при охолодженні на повітрі до кімнатної температури в таких ділянках відбувається мартенситне перетворення. Це призводить до зростання мікротвердості таких ділянок.

5. Проведені дослідження доводять, що нагрівання робочої поверхні матриць відбувається вище температур поліморфного  $\alpha \rightarrow \gamma$  перетворення сталі 5Х3В3МФС, що обмежує її використання для виготовлення пресових матриць гарячого пресування.

6. Таким чином, необхідно обрати більш працездатні штампові сталі або сплави для виготовлення таких матриць.

7. Для виготовлення пресової матриці був запропонован жароміцний сплав на Fe-Ni основі з ГЦК граткою ХН35ВТЮ (ЭИ787). Він має більший

опір знеміцненню при нагріванні та рівень високотемпературної міцності в порівнянні зі сталлю 5Х3В3МФС. Так, при температурі 750 °С границя міцності такого сплаву складає 750 МПа проти 410 МПа для сталі 5Х3В3МФС.

8. Застосування жароміцного сплаву ХН35ВТЮ (ЭИ787) для виготовлення пресових матриць, замість серійної високотеплостійкої штампової сталі 5Х3В3МФС (ДИ-23), дозволяє при гарячому пресуванні прутків зі сплаву Ni-Mo підвищити загальну стійкість матриць у 8 разів.

9. Відповідно до отриманих результатів, фактори, що забезпечують економічний ефект при використанні сплаву ХН35ВТЮ, слід віднести зменшення витрат матеріалу на інструмент в кількісному вираженні та зменшення витрат на виготовлення інструменту.

10. Були наведені основні заходи з охорони праці, при дослідженні знеміцнення і температури розігрівання поверхневих шарів матриць при гарячому пресуванні прутків сплаву Ni-Mo та забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Позняк Л.А., Скрынченко Ю. М., Тишаев С.И. Штамповые стали.— М.: Металлургия, 1980. — 244 с.
2. Б.В. Баричко, Я.И. Космацкий, К.Ю. Панова. Технология процессов прессования: учебное пособие — Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. — 70 с.
3. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. — М.: Металлургия, 1983. — 528 с.
4. Башнин Ю.А., Ушаков Б.К., Секей А.Г. Технология термической обработки стали. — М.: "Металлургия", 1986. — 424 с.
5. Специальные стали / Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. — М.: Металлургия, 1985. — 408 с.
6. Лахтин М.Ю. Металловедение и термическая обработка металлов. 2-е изд., перераб. и доп., — М.: Металлургия, 1979. — 320 с.
7. Справочник по инструментальным сталям / Терновой Ю. Ф., Канюка В. И., Терехов В. Н., Мороз А. Н. Харьков: «Металлика». 2008. 224 с.
8. Перлин И. Л., Райтбарг Л. Х. Теория прессования металлов. — М.: Металлургия, 1975. — 448 с.
9. Ерманок М. В., Фейгин В. И., Сухоруков Н. А. Прессование профилей из алюминиевых сплавов. — М.: Металлургия, 1975. — 264 с.
10. Грабарник Л. М., Нагайцев А. А. Прессование цветных металлов и сплавов. — М.: Металлургия, 1983. — 240 с.
11. Расчет температурных полей в слитке при градиентном нагреве/ В. А. Семин, А. Г. Карякин. — Деп. Цветметинформация, рж. т. 15, реф. 11520 — 75.
12. Влияние режимов нагрева на распределение температуры в слитке перед прессованием / А. В. Гусев, А. В. Недугов, В. Л. Бережной и др. — В кн.: Теория и технология ОМД № 142, МИСиС. — М.: Металлургия, 1982.

13. Инструмент с упругими элементами для прессования с активным трением / А. И. Батулин, В. Н. Данилин, А. П. Панин и др. – Цветные металлы, 1980. № 11. С. 76 – 79.

14. Исследование температурных условий работы инструмента при прессовании и штамповке / А. И. Батулин, В. Н. Щерба, В. Н. Данилин. Известия вузов. – Черная металлургия, 1980. № 5. С. 74 – 79.

15. Температурные условия работы инструмента при прессовании/ В. Н. Щерба, В. Н. Данилин — Кузнечно-штамповочное производство, 1985. № 5. С. 20 — 23.

16. Логинов Ю. Н., Мякошин В. И., Семенов А. П. Влияние процессов контактной теплопередачи на кинематику процесса прессования латуней // Сб. тр. 1-й Росс, конф. "Кузнецы Урала-2005". Екатеринбург. 2005. С. 187–194.

17. Шевакин Ю. Ф., Грабарник Л. М., Нагайцев А. А. Прессование тяжелых цветных металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1987. – 246 с.

18. Бакли Д. Поверхностные явления при адгезии и фрикционном взаимодействии. – М.: Машиностроение, 1986. – 360 с.

19. Изменение температуры инструмента при горячем прессовании прутков из меди и латуни / Логинов Ю. Н., Семенов А. П. — Кузнечно-штамповочное производство, 2006. № 4. С. 10 — 13.

20. Самохоцкий А.И., Парфеновская Н.Г. Технология термической обработки металлов. – М.: «Машиностроение», 1976. 311 с.

21. <http://readmetal.com/?p=12443>.

22. <https://www.metalika.ua>.