

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
**Кафедра прикладного матеріалознавства  
і технології конструкційних матеріалів**

ЗАТВЕРДЖУЮ:

завідувач кафедри

Гапонова О.П.

\_\_\_\_\_  
дата, підпис

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

**за напрямом підготовки 132 «Матеріалознавство»**

Тема роботи «Вибір матеріалу, розробка технологічного процесу виготовлення і зміцнення деталі «ніж апарату подрібнення рослинних проб».

Виконав:

Студент Данільченко Вадим  
Олександрович

\_\_\_\_\_  
дата, підпис

Залікова книжка № 18510274

\_\_\_\_\_  
підпис

Захищена з оцінкою

\_\_\_\_\_  
оцінка, дата

Керівник:

Харченко Надія Анатоліївна

\_\_\_\_\_  
дата, підпис

Консультант:

Руденко Павло Володимирович

\_\_\_\_\_  
дата, підпис

Секретар ЕК:

Сидоренко Ю. Ю.

\_\_\_\_\_  
дата, підпис

Суми 2020

Сумський державний університет  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра «Прикладного матеріалознавства і технології конструкційних матеріалів»  
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ О.П. Гапонова

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**ЗАВДАННЯ  
ДЛЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

Данільченко Вадим Олександрович

1. Вибір матеріалу, розробка технологічного процесу виготовлення і зміцнення деталі «ніж апарату подрібнення рослинних проб».

Наказом по університету від «07» квітня 2020 р. № 0513-III

2. Термін здавання студентом закінченого проекту (роботи) \_\_\_\_\_
3. Вихідні дані проекту (роботи) Креслення ножа для подрібнення рослинних проб
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх потрібно розробити) аналіз умов роботи деталі, літературний огляд, вибір матеріалу та методів дослідження, маршрутна технологія виготовлення деталі, розрахунково-експериментальна частина.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) креслення деталі, графік термічної обробки деталі, план розробленого термічного відділення.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пор.	Назва етапу дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапу проекту (роботи)	Примітка
1	Характеристика та умови		
2	Огляд літератури		
3	Вибір матеріалу та методів дослідження		
4	Маршрутна технологія виготовлення деталі		
5	Розрахунково-експериментальна частина		

6. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник проекту \_\_\_\_\_  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра містить 61 сторінки, зокрема 13 таблиць, 24 рисунки, список із 23 використаних джерел на 2 сторінках та додатки.

Мета роботи – удосконалення технології виготовлення і зміцнення ножа апарату подрібнення рослинних проб.

**Методи досліджень:** металографічні дослідження структури поверхневого шару сталей, вимірювання мікротвердості.

Ніж знаходиться в експлуатації в складному напруженому стані. Він зазнає високу контактну напругу та тиску на ріжучу кромку при подрібненні та змішанні оброблюваного матеріалу. Ріжуча кромка ножа знаходиться при цьому в умовах, близьких до нерівноважного всебічного стиску. Ніж піддається також впливу підвищених напруги, що розтягують як наслідок дії центротяжних сил. Робоча кромка зазнає тепловий вплив за рахунок тепла, що виділяється при різанні та терті.

Під час виконання кваліфікаційної роботи було досліджено вплив процесів термообробки сталі 9ХФ (заводський варіант) та борування на структуру й властивості сталі 9ХФ (запропонований варіант). Проведено порівняльний аналіз властивості використаних сталей, розроблено технологію хіміко-термічного оброблення. Після проведення ХТО визначено товщину дифузійного шару та його мікротвердість.

Ключові слова: ніж, зносостійкість, твердість, міцність, температура, термічне оброблення, хіміко-термічне оброблення, нормалізація, гартування, борування, відпуск, структура.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ .....	8
ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИРОБІВ, ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛІВ.....	8
1.1 Аналіз умов роботи деталі «ніж подрібнювача рослинних проб».....	8
1.2 Причини виходу з ладу деталі «ніж».....	10
Висновки .....	16
РОЗДІЛ 2 .....	17
ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	17
2. 1 Сталі, що використовуються для виготовлення ножів .....	17
2. 2 Метод підвищення зносостійкості ножів боруванням поверхні .....	20
Висновки .....	26
РОЗДІЛ 3 .....	28
ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ДЕТАЛІ .....	28
3.1 Вибір матеріалу деталі «ніж».....	28
3. 2 Опис впливу легувальних елементів на властивості матеріалу .....	34
3. 3 Методи дослідження матеріалів .....	39
РОЗДІЛ 4.....	45
РОЗРОБЛЕННЯ МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ .....	45
ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	45
4.1 Маршрутна технологія виготовлення і термічної обробки деталі «ніж».....	45
4. 2 Вибір та обґрунтування технологічного процесу термічної обробки деталі.....	49
Висновки .....	54

РОЗДІЛ 5 .....	55
РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА .....	55
5. 1 Вибір обладнання для проведення термічної обробки .....	55
5. 2 Розрахунок обладнання термічного ділянки .....	58
5.3 Розробка планування термічного ділянки і вантажопотоків.....	61
Висновки .....	65
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ .....	68
Додатки .....	70

С У М О В І

## ВСТУП

Підвищення довговічності деталей машин інструменту є сьогодні однією з найважливіших проблем матеріалознавства. Деталі машин в процесі експлуатації піддаються дії великих контактних навантажень, абразивному зношуванню, різними видами тертя. Високі експлуатаційні характеристики цих деталей часто визначають міцність і надійність вузла або машини в цілому. Тому ефективне підвищення службових характеристик деталей і інструменту значною мірою пов'язане з необхідністю збільшення їх зносостійкості. У сучасному машинобудуванні особливе впливи приділяється підвищенню зносостійкості деталей.

Підвищення зносостійкості деталей досягається завдяки нанесенню спеціального зносостійкого покриття на поверхню деталі. При цьому зносостійкість деталі без покриття може бути набагато нижча, ніж у деталі зі зносостійким покриттям. Зносостійкість залежить від складу і структури оброблюваного матеріалу, початкової твердості, шорсткості і технології обробки деталі, стану деталі у відповідь.

Для ефективного підвищення службових характеристик сталевих виробів можуть застосовуватися різні способи зміцнення, такі як хіміко-термічна обробка сталевих деталей, цементация, хромування, ціанування, газове азотування в печах, методи лазерного і електроіскрового зміцнення.

Вплив процесів зміцнення розглядається на прикладі деталі - ніж апарату подрібнення рослинних проб .

**Мета і завдання дослідження:** удосконалення технології виготовлення і зміцнення ножа апарату подрібнення рослинних проб.

**Методи досліджень:** металографічні дослідження структури поверхневого шару сталей, вимірювання мікротвердості.

**Об'єкт дослідження:** твердість, мікротвердість деталі ніж після зміцнення методом борування, структура, властивості і характеристики.

**Предмет дослідження:** деталь ніж виготовлений зі сталь 9ХФ на яку наносяться покриття методам борування.

## РОЗДІЛ 1

### ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ

#### ЕКСПУАТАЦІЇ ВИРОБІВ, ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛІВ

##### 1.1 Аналіз умов роботи деталі «ніж подрібнювача рослинних проб»

Подрібнювач рослинних проб (рис. 1.1) - це універсальні, довговічні й ефективні прилади для розмелювання сухих рослинних проб вологістю не більше 14% і частинками 40 мм за найбільшим розміром, застосовуються на невеликих фармацевтичних і хімічних виробництвах, а також для подрібнення проб в лабораторіях. Млин працює на принципі подрібнення рослинних проб різанням. Млин складається з основи, на якій розміщені: камера помелу зі стійкою, пульт управління і двигун.

Технічні характеристики:

- продуктивність, не менше ніж, проб/год. - 10
- час розмелювання однієї проби, не менше ніж. - 3
- маса проби, не більше, г - 100
- споживана потужність, не більше, кВт - 0,6
- живлення, В/Гц - 220/50
- габарити, мм - 570x280x480
- маса, кг - 30.

Ріжучі млини оснащені спеціальними притискними кришками, що дозволяють швидко подрібнювати великі кількості листя, гілля, деревини, кісток, насіння, харчових концентратів, будівельних матеріалів і хімікатів в тонкий порошок. Крупність отримуваної фракції залежить від часу помелу. Як правило, час помелу становить до 3-х хвилин.

Млини відмінно підходить для подрібнення таких проб, як зерно, солод, насіння, прянощі, рис, пшениця, сіль, високомолекулярні сполуки, деревина, листя, чай, тютюн, пігменти, миючі засоби, коріння, стебла, вугілля, кокс,



таблетки, капсули, проби ґрунту гірських порід, будівельні матеріали.

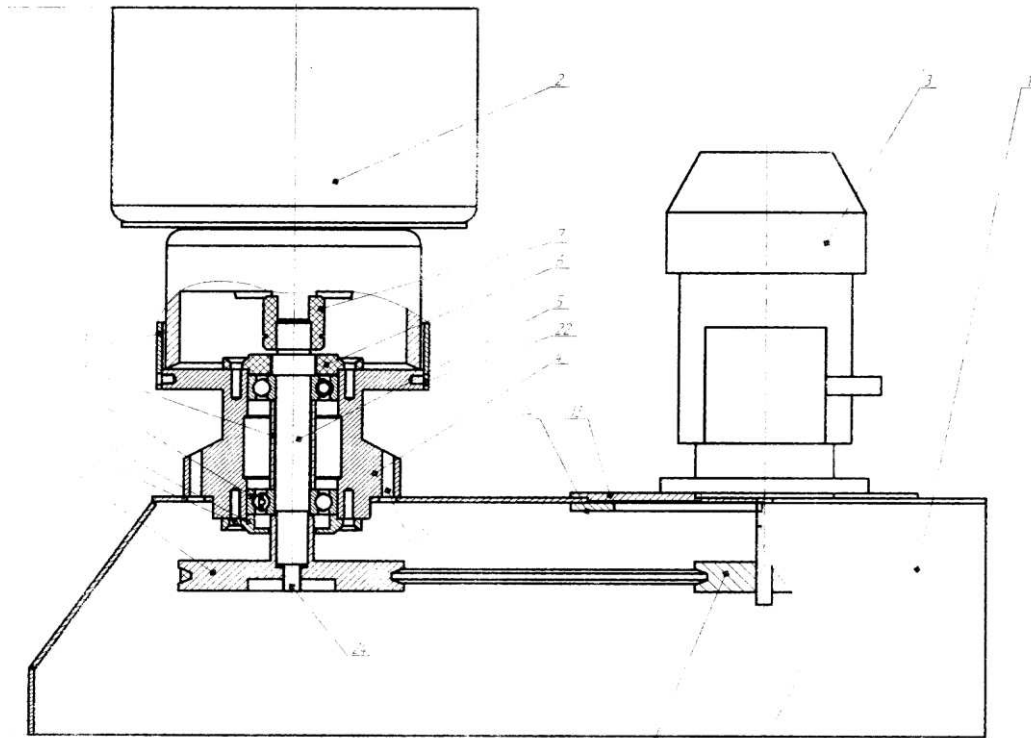


Рисунок 1.1 – Подрібнювач рослинних проб 1 - основание, 2 - ось, 3 - втулкопроставочна, 4 - втулка, 5 - прокладка, 6 - диск, 7 - чаша, 8 - ніж, 9 - шайба, 10 - гайка, 11- штифт

Ніж для апарату подрібнення рослинних проб (рис. 1.2) піддається ерозійному руйнуванню поверхні ножа під дією ударів потоку твердих часток шихти, що багаторазово-повторюються, що викликає місцеві ушкодження і ударно-стирального зношування і корозійного зношування.

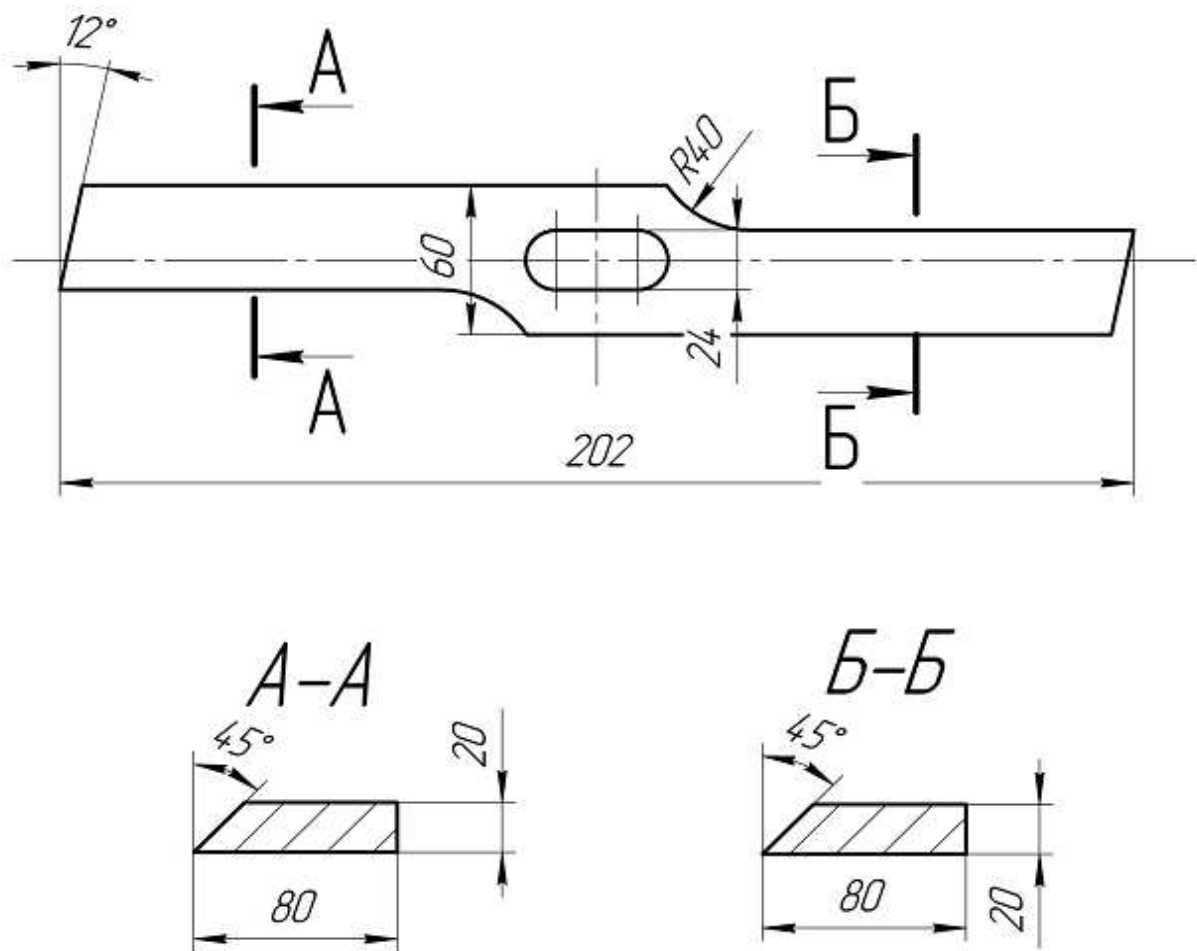


Рисунок 1.2 – Ніж для подрібнення рослинних проб

## 1.2 Причини виходу з ладу деталі «ніж»

При терті у поверхневих шарах контактуючих поверхонь деталей виникають складні процеси. Академік П.А. Ребіндер створив основні положення теорії зовнішнього тертя і зношування від втомленості, за якими ці процеси є комплексними процесами фізико-хімічної механіки. Вони регламентуються такими послідовними і взаємозалежними етапами процесу тертя, а саме [1]:

за І.В. Крагельським:

- взаємодією поверхонь тіл з урахуванням впливу навколишнього середовища;
- зміною властивостей поверхневих шарів у результаті взаємодії з урахуванням впливу навколишнього середовища;

- руйнуванням поверхонь внаслідок двох попередніх етапів;

по А.В. Чичинадзе:

- властивостями матеріалів пари тертя і навколишнього середовища;

- мікро- та макрогеометрією контактуючих елементів і коефіцієнтом взаємного перекриття;

- режимом тертя за навантаженням, швидкістю ковзання, початковою і поточною об'ємною і поверхневою температурою, а також градієнтом температур по координаті за часом.

Класифікацією видів зношування займалися такі відомі вчені, як М.М. Хрущов, А.К. Зайцева, Б.І. Костецький, Н.Л. Голего, І.В. Крагельський та ін. Пропоновані ними класифікації узагальнені в стандартах. На рисунку 3. приведена класифікація видів зношування, що рекомендується ГОСТ 27674-88.

**Абразивне зношування.** У сумарному обсязі всіх видів зношування приблизно 80-90% припадає на частку абразивного, яке виникає при терті деталей об тверді тіла або частинки. У цьому випадку поверхня тертя руйнується у результаті роботи абразивних частинок, що деформують мікрооб'єми металу поверхневих шарів і зрізають при терті стружку сколювання. На абразивне зношування впливають форма і властивості абразивів і металевих поверхонь.

Для всіх типів абразивного зношування загальним є механізм процесу, що полягає у впровадженні абразивного тіла в метал і його просування при терті уздовж поверхні, у результаті чого відбувається або пластичне деформування металу, або відділення мікрочастинок, або відкол.

Абразивна зносостійкість залежить від міцності зв'язків між атомами у ґратах матеріалу, що зношується.

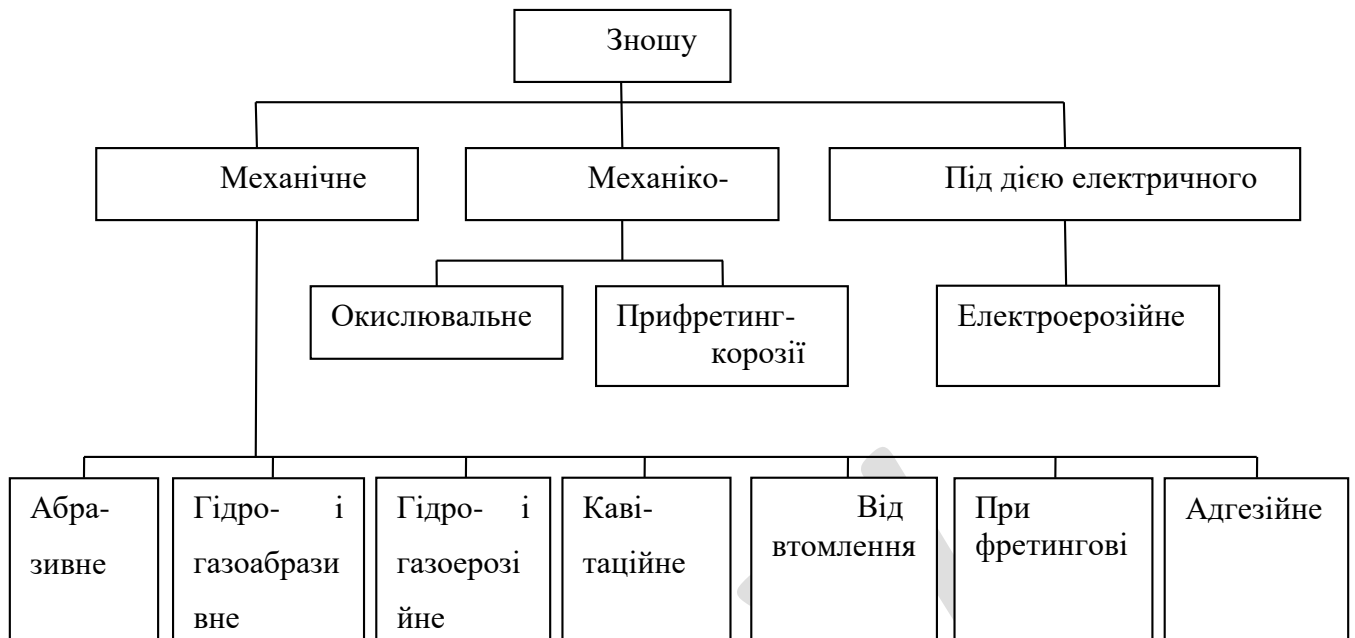


Рисунок 1.3 – Класифікація видів зношування

**Корозійно – механічне зношування** відбувається при терті матеріалів, що вступають у хімічну взаємодію із середовищем.

Чиста металева поверхня легко піддається хімічному впливу середовища. Однак якщо у процесі корозії, що почалася, продукти її утворять міцно зв'язану з металом плівку, що ізолює поверхню від корозійного середовища, то метал стає нейтральним стосовно неї. Процес штучного утворення тонких окисних плівок на поверхні металу для захисту його від корозії і додавання виробу кращого вигляду називають пасивуванням. Здатністю до пасивування володіють залізо, нікель, хром, алюміній та інші метали. Хімічна корозія проходить при взаємодії металів із сухими газами і парами. Газовій корозії піддаються циліндри двигунів внутрішнього згоряння, випускні клапани, камери згоряння газових турбін, елементи парових казанів і пароперегрівачів, арматури печей і ін.

Газова корозія найбільше часто відбувається внаслідок окиснювання металу при високих температурах за рахунок кисню повітря або  $\text{CO}_2$  і  $\text{O}_2$  у продуктах згоряння палива.

На поверхні вуглецевої сталі газова корозія проявляється у вигляді плівок окислів уже при температурі 200-300°C. З підвищенням температури до 600°C у

зв'язку з утворенням під дією внутрішніх напружень тріщин у захисній плівці швидкість корозії зростає. При подальшому зростанні температури швидкість корозії різко зростає і утворюється окалина.

Газова корозія, як і електрохімічна, не є видом зношування. Корозія може проявлятися при кавітаційному руйнуванні і фреттинг-корозії, у багатьох випадках відбувається паралельно з ерозією, завжди полегшує її і супроводжує процес тертя, особливо тертя без мастильного матеріалу, істотно впливаючи на зношування робочих поверхонь деталей [2].

У деяких випадках спостерігається щілинна корозія, при якій корозійні пошкодження зосереджені в зазорах між поверхнями.

### **Процеси які відбуваються на поверхні зносу ножа**

Зношування - процес взаємодії поверхонь, що супроводжується не тільки їх мікрорізанням, деформуванням і нагріванням, а також і зміною механічних властивостей, структури, фазового складу і хімічної активності поверхневих шарів.

В.П. Альохін та М. Х. Шоршоров [3] вважають, що вивчення структурних і енергетичних закономірностей пластичної деформації в приповерхневих шарах матеріалів у порівнянні з їх внутрішніми об'ємними шарами має більш важливе значення для розвитку теорії і практики процесів тертя, зносу і захоплення. При цьому слід зазначити, що поверхневі шари кристалічних матеріалів мають, як правило, специфічні закономірності пластичної деформації.

Тонкі шари робочої поверхні володіють значною активністю у фізичному та хімічному відношенні і підвищеною вільною енергією [4]. За властивостями і структурою (субструктурою) вони відрізняються від решти матеріалу (всередині об'єму). Специфічна поведінка їх в процесі деформації обумовлена особливим положенням атомів матеріалу в поверхневому шарі, в якому деякі зв'язки залишаються вільними. Це призводить до виникнення вільної поверхневої енергії і появи деяких структурних особливостей матеріалу в тонкому приповерхневому шарі. До субструктурної зміни такого шару відносяться, наприклад, мікроскопічні

деформації в поверхневому шарі матеріалу, які досить сильно впливають на процеси тертя та зносу. Специфічна роль поверхневого шару виявляється практично на всіх стадіях деформаційного зміцнення (у тому числі технологічними методами).

Відомо, що при руйнуванні твердих тіл вирішальну роль відіграють пластичні деформації, які завжди передують руйнуванню. У цих випадках процес пластичної деформації зазвичай складається з декількох послідовних етапів: зменшення пластичності, максимального зміцнення металу, переходу в критичний стан і руйнування, тобто відділення мікрооб'ємів.

Пластична деформація збільшує фізико-хімічну активність поверхневих шарів, від якої залежить будова і властивості граничних шарів, протікання явищ фізичної та хімічної адсорбції, можливість схоплювання дотичних металів.

Е.А. Марківським встановлено, що при роботі деталей машин, властивості поверхневих шарів матеріалу під впливом пластичної деформації, теплоти тертя, хімічних та інших процесів змінюються, істотно впливаючи на подальше руйнування при зношуванні [5]. Зміни в поверхневому шарі матеріалу призводять до утворення градієнтів хімічної, структурної, і, отже, механічної неоднорідності по всій глибині шару, що визначають зносостійкість цього матеріалу в залежності від умов тертя.

В процесі різних видів зношування дуже важливе значення мають стан і властивості тонкого поверхневого шару деталей, від яких залежать характер при утворенні вторинних структур і розвиток явища структурної пристосовності матеріалів в процесі експлуатації.

На думку Б.І. Костецького і співробітників [6], особливості фізичного механізму структурної пристосовності полягають у тому, що робота тертя є допомогою пружно-пластичній деформації, яка викликає первинну зміну структури поверхневого шару і виділення теплоти. До особливостей пластичної деформації вони відносять: локалізацію в найтонших поверхневих шарах; диспергування і орієнтацію щодо направлення переміщення; виключно високу

щільність енергії, запасеної в поверхневому шарі; одночасну структурну і термічну активацію поверхневого шару.

В умовах тертя ковзання, фізична модель нормального тертя і зносу включає такі основні процеси, що протікають в поверхневих шарах металу: текстурування та активізацію поверхневих шарів товщиною порядку десятків нанометрів, утворення вторинних структур і їх руйнування [7].

Розглядаючи процес зносу як результат безперервної сукупності переходів матеріалу поверхні тертя з одного стану в інший, його вивчення в даний час ведуть в наступних напрямках: вплив деформування; зміни мікроструктури; зміни тонкої структури; вплив режимів та середовища; газовиділення і газопоглинання.

На рисунку 1.4 наведена схема класифікації дослідження поверхонь зносу на основі перших двох напрямків. Слід мати на увазі, що в реальних умовах тертя і зносу багато з зазначених на схемі факторів виявляються одночасно і взаємно пов'язані між собою, тому порядок їх розподілу в схемі є умовним.



Рисунок 1.4 – Схема класифікації основних напрямків дослідження поверхонь зносу металів і сплавів

## Висновки

Ніж знаходиться в експлуатації в складному напруженому стані. Він відчуває високі контактні напруги та тиску на ріжучу кромку при подрібненні та змішанні оброблюваного матеріалу. Ріжуча кромка ножа знаходиться при цьому в умовах, близьких до нерівноважного всебічного стиску. Ніж піддається також впливу підвищених напруг, що розтягують як наслідок дії центротяжних сил. Робоча кромка відчуває тепловий вплив внаслідок тепла, що виділяється при різанні та терті.

Проаналізувавши можливі причини виходу ножа з ладу, можна зробити висновок, що матеріал, з якого він виготовляється, повинен мати наступні властивості:

- для забезпечення процесу різання різальна частина ножа повинна мати достатню твердість в межах 50-55 HRC і зносостійкістю;
- прожарювана -  $\geq 3$  мм;
- мікроструктура різальної частини — мартенсит;
- межа міцності 900 -1100МПа;
- ударна в'язкість 120-250 Дж/см<sup>2</sup>.



## РОЗДІЛ 2

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

#### 2. 1 Сталі, що використовуються для виготовлення ножів

Як показав потентно-літературний пошук [8, 9] найдоцільніше для виготовлення ножа апарату подрібнення рослинних проб застосувати інструментальну сталь.

Інструментальні сталі призначені для виготовлення різального і вимірювального інструменту, штампів холодної і гарячої деформації, а також ряду деталей точних механізмів і приладів : пружин, підшипників кочення, шестерень та ін. Часто з таких сталей виготовляють тільки робочу(різальну) частину інструменту, а кріпильні частини виконують з конструкційних сталей.

Основними споживчими вимогами до інструментальних сталей є *висока твердість, зносостійкість і міцність при високій (500...800°C) теплостійкості*. Окрім експлуатаційних властивостей, для інструментальних сталей велике значення мають технологічні властивості: *прогартовуваність, малі об'ємні зміни при загартуванні, оброблюваність тиском, різанням, шліфуємість*.

Необхідні властивості інструментальним сталям надають карбідні фази, оскільки саме їх присутність обумовлює високі міцнісні показники і твердість (рис. 2.1).

Для забезпечення необхідних властивостей застосовують спеціальне легування і термічну обробку. Так забезпечення теплостійкості досягається легуванням стали вольфрамом, молібденом, ванадієм, а легування хромом і марганцем підвищують її прогартовуваність.

Термічна обробка інструментальних сталей, як правило, включає загартування і низьку відпустку. В результаті такої обробки досягаються твердість стали 60...65 HRC і межа міцності при вигині ( $\sigma = 250...350$  МПа. Режими термічної обробки залежно від хімічного складу сталей і вимог до їх твердості і міцності встановлені ГОСТ 5950-73 і ГОСТ 19265-73.

Інструментальні сталі класифікуються (ГОСТ 1435-74 і ГОСТ 5950-73) по основній споживчій властивості на *сталі високої твердості, сталі підвищеної в'язкості і теплостійкі сталі*. Сталі високої твердості і підвищеної в'язкості використовуються як нетеплостійкі.

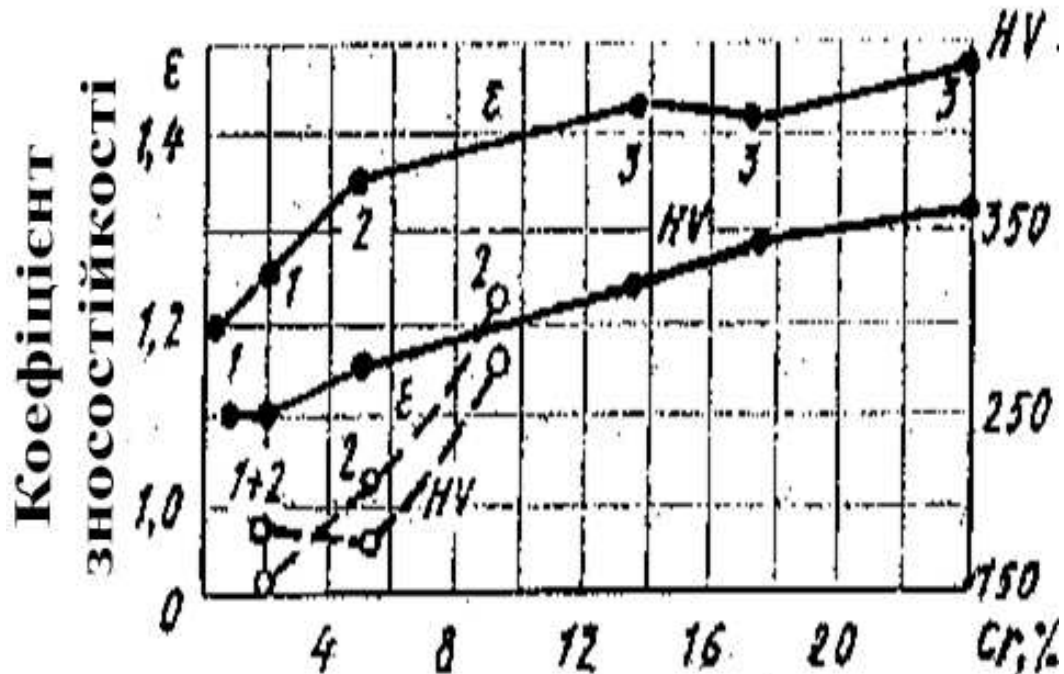


Рисунок 2.1 – Вплив змісту хрому і типу карбідів в хромистих сталях на твердість НВ і зносостійкість при терті по абразиву. Штрихові лінії - сплави, що містять 0,4% С; суцільні лінії - сплави, що містять 1% С;

1 - Fe, С; 2 -  $Cr_7C_3$ ; 3 -  $Cr_{23}C_6$  [9]

Інструментальні *сталі високої твердості* по хімічному складу можуть бути високовуглецевими (0,68...1,35% С) і низьколегованими (Mn, Si, Cr та ін.). Структура після термообробки - мартенсит і перліт. Температура експлуатації для виробів з таких сталей до 190... 225°C; при цьому їх твердість - 60...68 HRC.

Інструментальні сталі високої твердості (У10...У13, У10А...У13А, 13Х, ХВСГ, 9ХФ, 7ХГ2ВМ та ін.) класифікуються по прогартовуваності на *сталі невеликій, підвищеної і високої прогартовуваності*. Величина прогартовуваності визначає розмір виробу. Так інструментальні сталі невеликої прогартовуваності

використовують для виготовлення тонкого інструменту діаметром менше 12...15 мм, а сталі високій прогартовуваності - для масивного інструменту і інструменту складної форми.

*Сталі підвищеної в'язкості* по хімічному складу – середньовуглецеві (0,60...0,74% C), середньолеговані (Mn, Si, Cr та ін.). Для виробів з цих сталей температура експлуатації, як правило, менше 200°З, а їх твердість - 62 HRC. Сталі підвищеної в'язкості (У7, У7А, 7ХФ, 6ХС) використовуються для виготовлення інструментів для обробки деревини(пили, ножі та ін.).

Інструментальні *теплостійкі сталі* по температурі експлуатації у свою чергу ділять на *власне теплостійкі* (500...800°С) і *напівтеплостійкі* (до 500°С). По хімічному складу ці сталі є вуглецевими (0,22...1,65% C), високолегованими (Mn, Si, Cr, W, Мо та ін.). Інструментальні *теплостійкі сталі* за температурою експлуатації в свою чергу ділять на *теплостійкі* (500...800°С) і *напівтеплостійкі* (до 500°С). За хімічним складом ці сталі являються вуглецевими (0,22...1,65% C), високолегованими (Mn, Si, Cr, W, Мо та ін.).

Теплостійкі сталі високій твердості об'єднують в групу так званих *швидкорізальних сталей*, що маркуються по ГОСТ 19265-73, буквою Р(різальні). Після букви Р в марці слідує цифра, що вказує середній зміст у відсотках вольфраму, - головного легуючого елементу цих сталей(буква В - його умовне позначення - пропускається) : потім вказуються прийнятими для позначення як і в інших сталях буквами інші легуючі елементи з цифрами, що вказують їх зміст у відсотках, якщо цей зміст більше 1...2%. До складу усіх швидкорізальних сталей неодмінно входять вуглець (0,8...1,25%), хром (близько 4%) і ванадій (1...2%), зміст яких в марці не вказується.

Фазовий склад швидкорізальних сталей в стані, що відпалює, представлений легованим феритом і карбідами  $M_6C$ ,  $M_{33}C_6$ ,  $MC$ ,  $M_3C$ . Основним карбідом є  $M_6C$ . Кількість карбідної фази в сталі Р18 досягає 25...30%, а в сталі Р6М5 - 22%.

Обробка швидкорізальних сталей включає гаряче кування литих заготівель, відпал., загартування і багатократну(частіше триразовий) відпустку. Структура після загартування - мартенсит + карбіди + залишковий аустеніт. Відпустка

викликає перетворення залишкового аустеніту на мартенсит і дисперсійне тверднення. Це супроводжується збільшенням до % HRC 64 твердість(вторинна твердість) за рахунок виділення часток цементиту. Для поліпшення різальних властивостей і підвищення зносостійкості деякі види інструментів піддають низькотемпературному(540...570°C) ціануванню, в результаті якого на поверхні сталі утворюється тонкий шар високої твердості(1000...1100 HV).

Напівтеплостійкі (X12M, 5XHM) і теплостійкі (P12, P6M5, P18; P12Ф3, P13Ф4К5, P9M4K8, 4X5MФС, 4X5B2ФС, 4X4BMФС, 45X3B3MФС, 2X8B8M2K8) сталі використовуються для виготовлення різальних інструментів (наприклад, фрези, свердла) і штампів, пуансонів. Для інструментальних сталей при температурі експлуатації до 650°C твердість має бути 60...62 HRC, а для штампівих - 45...52 HRC до 700°C.

## 2. 2 Метод підвищення зносостійкості ножів боруванням поверхні

Борування - процес хіміко-термічної обробки при якому поверхня виробу насичується бором з метою підвищення поверхневої твердості, зносостійкості, теплостійкості до температури 900-950°C і корозійній стійкості [9].

Найбільш перспективні для промислового використання наступні методи і способи борування:

- а) в порошкових сумішах з використанням герметизованих контейнерів;
- б) в розплавах солей і оксидів(електролізне і без електролізний);
- в) газове борування в атмосфері розкладання газоподібних з'єднань бору;
- г) борування з пастоподібних обмазок, що містять з'єднання боріду.

Усі методи борування (окрім боування в розплавах) проводяться в герметичному контейнері.

Вибір методу борування диктується не стільки вартістю процесу, скільки його технологічністю, умовами виробництва, конфігурацією і розмірами деталей, умовами їх роботи. Боровані деталі добре працюють в абразивному і

гідроабразивному середовищі. Твердість борованих шарів досягає HV 1400-2000, але необхідно звернути увагу на крихкість борованих шарів. На невідповідальних деталях можна проводити контроль твердості поверхні тарованим напилком.

Перед боруванням поверхню виробів очищають від слідів окалини, іржі, змащування та ін. забруднень.

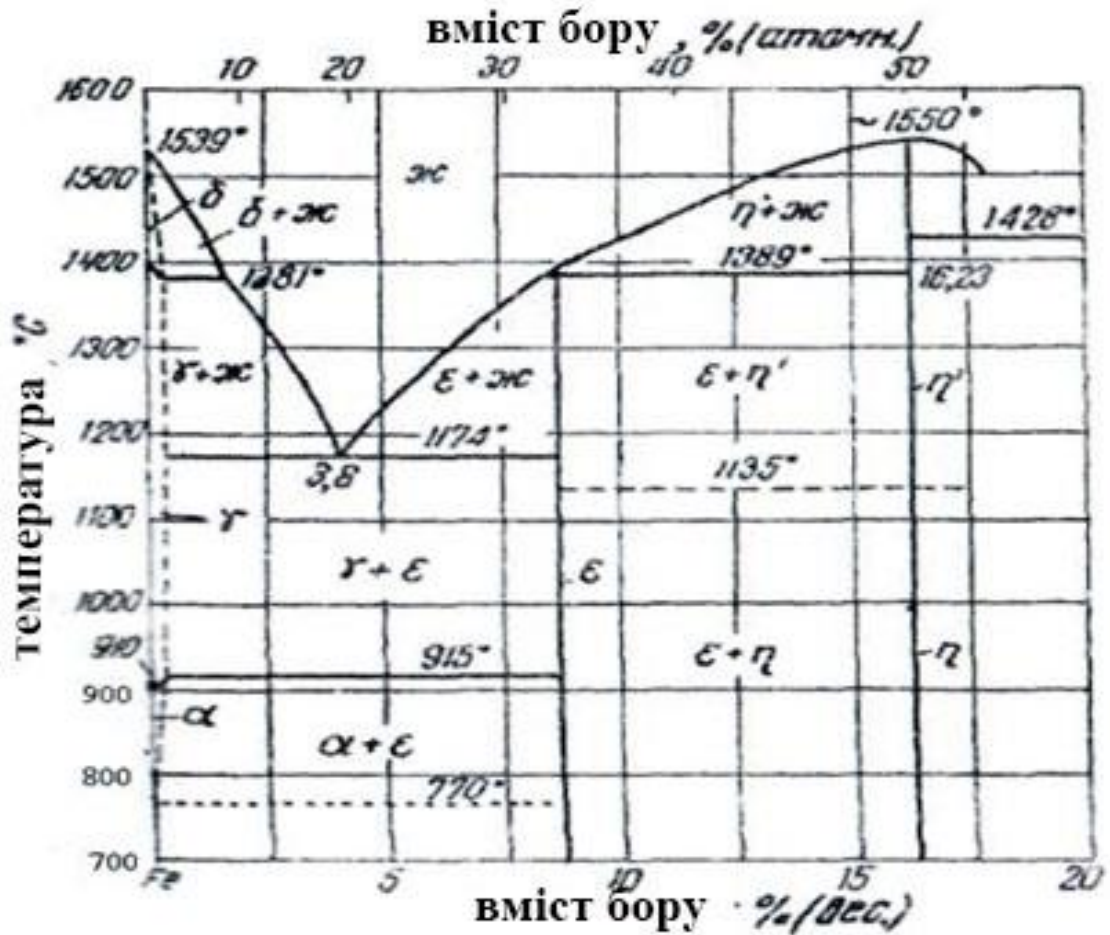


Рисунок 2.2 – Діаграми стану Fe-B Як видно з діаграми стану Fe-B бор із залізом утворюють хімічні сполуки – бориди  $Fe_2B$ ,  $FeB$ ,  $\alpha$  і  $\beta$  тверді розчини, що мають невелику концентрацію бору, наприклад в  $\gamma$  - залізі при  $100^\circ C$  - 0,008%, при цьому  $\alpha$  - твердий розчин заміщення;  $\beta$  – впровадження

Місця, що не підлягають боруванню можна оберігати обмазкою відповідними пастами, що містять мідь, хром або окисел алюмінію. Ефективно використати гальванічне міднення.

Боруванню можна піддавати будь-кого стали, але наявність в сталях вуглецю і легуючих елементів зменшують швидкість дифузії бору в сталь, а отже, зменшують товщину борованого шару [10].

Легуючі елементи, що знаходяться в сталях, з бором не утворюють бориду; вуглець не утворює з бором карбідів. Точка Кюрі 769°C.

*Оптимальним режимом борування є борування при температурах 850-950°C з витримкою впродовж 2-8 год. При цьому товщина дифузійного шару коливається від 0,1-0,3 мм.*

*Мікроструктура борованого шару сталі є голками бориду, орієнтованого перпендикулярно поверхні деталі і що уклинюються у феритні зерна (рис. 2.3).*



Рисунок 2.3 – Мікроструктура борованого шару

*Боруванню піддають деталі устаткування нафтової, газової, металургійної, машинобудівної та ін. промисловості.[10] Хороші результати по зносостійкості показують вставки клітей безперервних дротяних станів, втулки бурових грязьових насосів, сопел струминних млинів тонкого помелу зерна, ланок ланцюгів пив для розпилювання деревини; боруванню піддають внутрішню поверхню труб по перекачуванню абразивної пульпи. Борирование добре захищає сталь від руйнування розплавом цинку, підвищує зносостійкість в 10-15 разів внутрішньої*

поверхні прес-форм і ливарних форм, поверхню контакту штампів для гарячого штампування, в 17 разів - гусениць тракторів, в 3-4 рази різального інструменту.

### Види борування

*Борування в порошках і обмазках.* Борування в порошках застосовується рідко. Проводиться в порошках аморфного бору або карбїду бору, феробору, фероборалу в герметичних контейнерах, у вакуумі або середовищі водню. Для прискорення процесу додають 0,5-1,0% фтористого або хлористого амонію ( $\text{NH}_4\text{F}$  або  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). Порошки заздалегідь зневоднюють, прожарюють потім змащують у відповідних пропорціях і упаковують з деталями в контейнери.

*При боруванні в пастах (обмазка)* застосовують суміш 50% карбїду бору і 50% кріолїту, єднальним елементом є етилсилїкат. Обмазки готують і наносять на оброблюваний вирїб зануренням або пензликом. Товщина обмазки 1,5-2,5 мм. Після нанесення кожного шару деталь просушують при  $100^\circ\text{C}$  - 2 год, або при  $20^\circ$  - 10 год. Для прискорення процесу нагрїв рекомендується вести струмами високої частоти (ТВЧ). Порошковий метод зазвичай застосовується для великогабаритних виробів.

*Борування в розплавлених солях і оксидах* є легко здійсненним і проводиться в розплавах наступного складу:

- а)  $68\% \text{BaCl}_2 + 22\% \text{NaCl} + 10\% \text{B}_4\text{C}$ ;
- б)  $80\% \text{NaCl} + 5\% \text{B}_4\text{C} + 15\% \text{NaBF}_4$ ;
- в)  $55\% \text{B}_4\text{O} + 35-45\% \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ;
- г)  $100\% \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ;

Борування сталевих виробів частіше виконують в розплавах солей при їх електролізі, де вирїб служить катодом.

Температура процесу  $930-950^\circ\text{C}$  при витримці від 2 до 6 год. Щільність струму на катоді  $0,15-0,2 \text{ а/см}^2$  і напруга 2-14 В.

Процес також можна вести і без електролізу у ваннах з розплавленими хлористими солями ( $\text{NaCl}$  і  $\text{BaCl}_2$ ) з додаванням порошкоподібного феро-бору або карбїду бору.

Газове борування здійснюють зазвичай в суміші диборану ( $B_2H_6$ ) і водню або трихлористого бору ( $BCl_3$ ) і водню.

Газові суміші найбільш активні, насичення бором протікає в них більше інтенсивне, ніж в інших середовищах і при нижчих температурах. Великим і основним його недоліком є токсичність і вибухонебезпека, вживаних газів.

### **Термічна обробка борованих деталей**

Для зміцнення серцевини середньо і важко-навантажених деталей після борування піддають термічній обробці: загартуванню і низькому відпуску.

Загартування бажано проводити з температури борування з попереднім підстуджуванням. При необхідності подрібнення аустенітного зерна, а також при порошковому методі борування загартування проводять з повторного нагріву в соляних ваннах. Вибір температури загартування і гартівного середовища визначається хімічним складом сталі. Можна застосовувати загартування з нагрівом струмами високої частоти з використанням машинних генераторів на глибину до 5 мм. Охолодження при загартуванні високолегованих сталей в розплавах лугів зменшує схильність утворення на борованому шарі тріщин і сколов.

### **Властивості покриттів бориду**

Борування зменшує щільність заліза і сталі, оскільки щільність бориду  $FeB$  і  $Fe_2B$  нижче щільності сталей; зменшує теплопровідність, знижує магнітну проникність, збільшує електроопір, підвищує міцність при стискуванні.

Однофазне борування збільшує на 20-50% втомну міцність конструкційних сталей. Двофазове - зменшує.

Загартування борованих сталей також знижує межу втоми. Застосування загартування ТВЧ і ізотермічного загартування навпаки підвищує.

Характерною властивістю шарів бориду є висока твердість бориду :  $FeB$  до 2000 HV,  $Fe_2B$  до 1400 HV. Титан, вольфрам, молібден, марганець, кремній і хром збільшують твердість однофазного бориду  $FeB$ ; нікель, алюміній і мідь - знижують.



Висока твердість боріду зберігається до температур  $\sim 700^{\circ}\text{C}$ . Це дозволяє застосовувати борування для підвищення зносостійкості виробів, працюючих при високих температурах. Але борування з метою захисту сталей від окислення недоцільно.

Шари боріду крихкі. Мікрокрихкість збільшується зі збільшенням товщини шару.

Висока зносостійкість - одну з основних властивостей для отримання яких проводять борування сталей і сплавів.

Зносостійкість шарів боріду в 6-8 разів вище цементованих і нітроцементованих.

Боровані сталі мають високу зносостійкість при терті ковзання, абразивному і гідроабразивному зношуванні, фретинг корозії при криогенних і високих температурах і різних агресивних середовищах.

Боровані сталі мають найвищу корозійну стійкість у водних розчинах соляної, сірчаної, фосфорної і плавикової кислот. Корозійна стійкість шарів боріду у вказаних середовищах вище в 5-240 разів, чим простих вуглецевих і в 5-10 разів нержавіючої сталі 12X18H9T.

Шари боріду стійкі в киплячих водних розчинах лугів. Боруванню можна піддавати Ni, Co, W, Nb, Ta, Mo, Ti з метою отримання високої твердості, зносостійкості і жаростійкості до  $950-1000^{\circ}\text{C}$ .

Боровані вироби механічній обробці, як правило, не піддають. Проте, якщо розміри борованих деталей виходять за допуски, встановлені технічними умовами, їх піддають шліфовці, використовуючи алмазні або ельборні круги. При поліровці і доведенні поверхонь боріду використовують алмазні пасти.

### **Контроль якості борованих виробів**

Боровані вироби піддають контролю на наявність сколов шару боріду на кромках і гострих кутах, наявність тріщин і мікротріщин візуальним оглядом.

Наявність мікротріщин не є ознакою бракування, якщо це не обумовлено особливо технічними умовами. Сколи недопустимі.

Товщина і фазовий склад шару бориду перевіряють на мікрошліфах зразків-свідків.

Виявлення фаз бориду проводять в реактиві наступного складу:

0,5 г пікринової кислоти + 12,5 г їдкого натру + 25 мл води або спирту (при 35-45°C впродовж 30 с). При цьому FeВ забарвлюється в коричневий, а Fe<sub>2</sub>В в жовтий колір.

Твердість вимірюють на приладі ТП (Вікерса) або мікротвердомірі ПМТ-3. Деталі перевіряють 100% тарованим напилком.

### **Висновки**

Були розглянуті перспективні види матеріалів для виготовлення ножа і методи обробки поверхневого шару металу шляхом нагрівання для підвищення експлуатаційних властивостей.

Твердість є найважливішою властивістю сталей. Вона характеризує напружений стан близьке до нерівноважного всебічному стиску, тим самим визначає опір значної пластичної деформації та контактним напруженням, що виникають в робочій кромці інструменту і призводить тверду сталь в більш пластичний стан.

Зі збільшенням твердості в більшості випадків зростає зносостійкість, збільшується можливість отримання більш чистої і рівної поверхні як металу, що обробляється різанням або тиском, так і самого інструменту при його шліфуванні і доведенні, зменшується налипання матеріалу на поверхню інструменту.

Залежно від складу сталі і термічної обробки, твердість змінюється в широких межах. Твердість залежить від вмісту вуглецю в мартенситі ( $\alpha$ -розчині), дисперсності виділилися карбідів (або інтерметалідів), а також від кількості залишкового аустеніту в структурі. Однак на неї мало впливають напруги і структурні фактори (величина зерна, розподіл карбідів), що впливають на міцність і в'язкість.

Підвищення твердості може супроводжуватися поліпшенням ріжучих властивостей в одних умовах роботи та, навпаки, їх погіршення в інших. Це залежить від умов експлуатації інструменту — ножа і величини утворюваних напруги і ударних навантажень. Підвищення стійкості інструменту в результаті зростання твердості при чистової обробки і невелике зниження її при обдирному викликані тим, що збільшення перетину стружки супроводжується зростанням питомих зусиль на ріжучу кромку і вимагає більш високої міцності.

Твердість і в'язкість змінюються найчастіше протилежним чином. Високої твердості, одержуваної в результаті гарту, відповідає різке зниження в'язкості. Невеликого зниження твердості (до 58-60 HRC) відповідає збільшення в'язкості.

## РОЗДІЛ 3

### ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ДЕТАЛІ

#### 3.1 Вибір матеріалу деталі «ніж»

Виходячи з умов завдання і технічних вимог виготовлення ножа подрібнювача рослинних проб можна використати вуглецеві сталі типу У9А - У10А, а також низьколеговані сталі типу 9ХФ, ХВГ, 9ХС. Можливо, виготовлення зі швидкорізальної сталі типу Р6М5.

Проаналізуємо сталь У9А, яка є інструментальною вуглецевою сталлю високої твердості і зниженої прогартовуваності. Основні особливості цих сталей пов'язані зі зниженою стійкістю аустеніту в перлітовій зоні і проміжній області.

Це створює певні переваги і недоліки сталей :

Переваги сталей :

- отримання високої твердості в поверхневому шарі при збереженні в'язкої серцевини. Це досягається в інструментах діаметром 5-25 мм;
- збереження меншого чим у легованих сталей кількості залишкового аустеніту до 5-8%;
- низька твердість (НВ 150-175) після відпалу значно полегшує виготовлення інструментів пластичною деформацією, а також полегшує їх механічну обробку.

Головним недоліком є низька прогартовуваність і загартовуваність і необхідність у зв'язку з цим виконання загартування з різким охолодженням у воді.

Внаслідок необхідності різкого охолодження при загартуванні вуглецеві сталі дуже чутливі до утворення тріщин і до деформації. Із-за невеликої прогартовуваності сталі не можна застосовувати для виготовлення інструментів більше 30 мм<sup>2</sup> в перерізі, особливо якщо вони призначені для роботи при підвищених тисках, оскільки при таких перерізах загартований шар надмірно тонкий і розташований на м'якій основі з різким перепадом твердості. Вуглецеві сталі мають значну чутливість до перегрівання, що сильно знижує їх в'язкість і міцність.

Таблиця 3.1

## Хімічний склад сталі У9А (ГОСТ 977-75)

C	Mn	Si	Cr
0,85-0,9	0,15-0,3	0,15-0,35	0,20

## Технологічні властивості сталі У9А

- Температура кування, °С: початку 1125, кінця 750.
- Зварюваність—не застосовується для зварних конструкцій.
- Флокеностійкість—не чутлива.
- Прогартовуваність (Загартування 760°С. Твердість HRC).

Таблиця 3.2

## Прогартовуваність (гартування 760°С, твердість HRC)

Відстань від торця, мм									
1,5	3	4,5	6	9	12	15	18	30	42
63	61	58	53,5	48	46	45,5	45,5	44,5	42,5

Критичний діаметр, мм : у воді 15-20, в олії 4-6.

Ножі для різання неметалічних матеріалів можна виготовляти також зі швидкорізальної сталі типу Р6М5. Швидкорізальні сталі отримують після загартування і відпустки(при 550-600°С) таку ж високу твердість(63-66 HRC). Проте вони мають теплостійкість, зберігаючи мартенситну структуру, що за наших умов не обов'язково, оскільки при робочому циклі млина МРП-1 температура в робочому просторі не перевищує 80-120°С. Також ці сталі мають високу твердість і зносостійкість до 600-625°С. Тому швидкорізальні сталі мають значно більш високі різальні властивості і їх застосовують для обробки матеріалів з великою швидкістю різання і підвищеною твердістю(міцністю). Чим вище температура нагріву, до якої швидкорізальна сталь зберігає високу твердість, тобто чим вище теплостійкість, тим краще, як правило, її різальні властивості.

Таблиця 3.3

## Механічних властивостей прокату (ГОСТ 2283-79)

Стан постачання	$\sigma_y$ , МПа, не більше
Стрічка холоднокатана	-
Відпалювана	750
Нагартована	750-1200
Нагартована, клас міцності Н <sub>1</sub>	750-900
Нагартована, клас міцності Н <sub>2</sub>	900-1050
Нагартована, клас міцності Н <sub>3</sub>	1050-1200

У нашому випадку її застосування не доцільне з економічної точки зору, оскільки вона має легуючі елементи, які дуже дорого коштують, такі як W і Mo. Для виготовлення ножа для різання вуглеволокон вибираємо інструментальну низьколеговану сталь 9ХФ.

Таблиця 3.4

## Хімічний склад сталі 9ХФ, %

C	Mn	Si	Cr	V
0,80-0,90	0,30-0,60	0,15-0,35	0,40-0,70	0,15-0,30

Хімічний склад низьколегованої сталі, встановлений так, щоб збереглися переваги вуглецевих сталей і зменшилися їх недоліки: низька загартовуваність і чутливість до перегрівання. Для запобігання першому дефекту сталі легують марганцем і хромом.

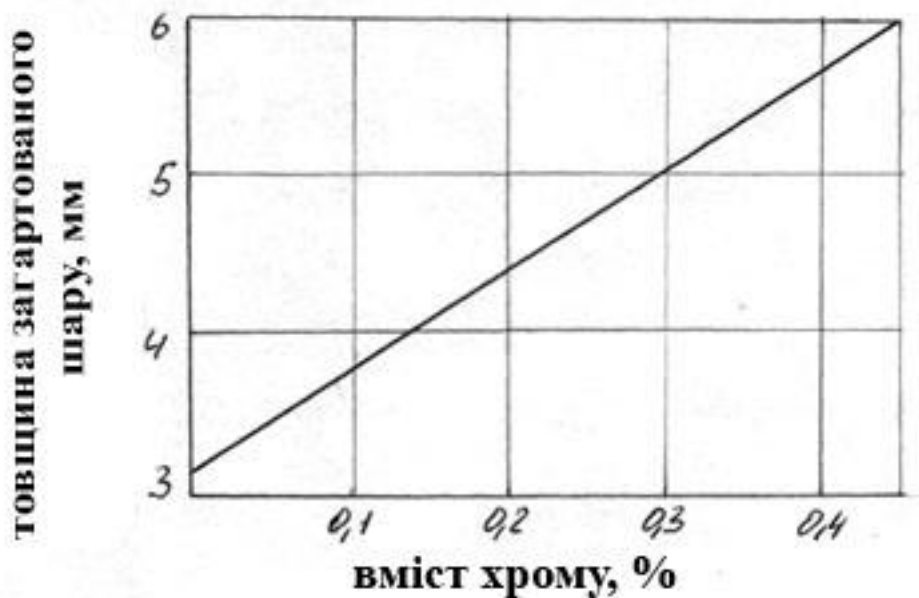


Рисунок 3.1 — Вплив хрому на загартовуваність сталі з 1% С; 0,25% Si; 0,25% Mn в зразках діаметром 25 мм; загартування 790°C [19]

Другий недолік зменшується при легуванні тим же хромом і особливо ванадієм.



Рисунок 3.2 — Вплив V і Cr на міцність сталі з 1% Із залежно від температури загартування (відпуск 150°C); 1 - сталь з 0,5% Cr і 1% V (11ХФ); 2 - з 0,5% Cr(11Х); 3 - вуглецева сталь У11 [19]

Проте ванадій, зв'язуючи частину вуглецю у важкорозчинному карбіді МС, знижує прогартуваність. Тому ванадій не застосовується в якості єдиного легуючого елементу.

Хром в сталях, близьких до евтектоїдних (сталь 9ХФ), будучи присутнім в розчині, трохи затримує зростання зерна і підвищує стійкість аустеніту в перлітовій області.

Ці легуючі елементи вводять лише в невеликих кількостях: не більше 1-1,2%(у сумі). Тоді ще зберігаються названі вище технологічні переваги, властиві вуглецевим сталям: хороша оброблюваність різанням і здатність приймати холодну деформацію в стані, що відпалює.

Твердість евтектоїдних сталей лише трохи вища (після відпалу на НВ 15-20), ніж вуглецевих.

У таблиці 3.5 наведені твердості сталей після ізотермічного відпалу.

Таблиця 3.5.

## Твердість сталей після ізотермічного відпалу

Твердість сталей після ізотермічного відпалу		
Марка сталі	Твердість НВ	Діаметр відбитку, мм, при d = 10 мм, Р = 3000 кгс
Сталі невеликої прогартуваності		
У8А – У12А, У8 – У12	166-192	4,35-4,65
У13А, У13, 11ХФ	170-196	4,3-4,6
13Х	179-196	4,3-4,5
В2Ф	187-228	4,0-4,5
ХВ4	228-286*	3,6-4,0
Сталі підвищеної прогартуваності		
Х	187-228	4,0-4,4
Типу 9Г2Ф	170-196	4,3-4,6
9ХВГ	196-241	3,9-4,3
ХВГ	207-255	3,8-4,2
9ХС	196-241	3,9-4,3
ХВСГ, 12Х1, типу 120ХВМ	296-235	3,95-4,3
Типу 150СХ3	229-268	3,7-4,0



Сталі високої прогартовуваності		
7ХГ2ВМ, 7ХГНМ	228-248	3,9-4,1
Типу ХГ2ВМ и ХГ3М	228-255	4,8-4,0

Кількість залишкового аустеніту в загартованих низьколегованих сталях майже таке ж, як і у вуглецевих. Із-за кращої загартовуваності ці сталі порівняно з вуглецевими отримують більш високу, а головне однорідну твердість в тонких перерізах. Тому основне призначення їх для інструментів невеликого перерізу : пил по дереву, ножів для різання органічних матеріалів(сталь 9ХФ), напилків, бритв (сталь 13Х).

У таблиці 3.6 наведені температури початку і кінця гарячої деформації заготовок різних сталей.

Таблиця 3.6

## Температур(°С) гарячої деформації заготовок

Марка сталі	Нагрівання	Кінець обробки
Сталі невеликої прогартовуваності		
У9А – У13А (У9 – У13), 9ХФ, 11ХФ, ХВ5, ХВ4 и В2Ф	1100-1125	775-860
Сталі підвищеної прогартовуваності		
Х, 9ХВГ, ХВГ, типу ХФ	1100-1140	820-860
9ХС, ХВСГ	1100-1125	820-860
12Х1, типу 120ХВМ, 120ХВФ и 150СХ3	1100-1400	840-900
Сталі високої прогартовуваності		
7ХГНМ, 7ХГ2ВМ, типу ХГ2М	1100-1140	860-900

### 3. 2 Опис впливу легувальних елементів на властивості матеріалу

Відповідно до класифікації, запропонованою Н. Т. Гудцовим, усі домішки(хімічні елементи), що містяться в сталі, можна розділити на чотири групи [10]:

1. Постійні і звичайні домішки. До цієї групи відносяться марганець і кремній, а також і алюміній, який як кремній і марганець, застосовується в якості розкислювача. Ці елементи є присутніми у будь-якій сталі, що добре розкислює, тому що введення їх в метал потрібне при виробництві сталі : до постійних(звичайним) домішок слід віднести сірку і фосфор, тому що повністю звільниться від них при масовому виробництві сталі неможливо. Зміст цих елементів знаходиться зазвичай в межах: 0,3-0,7% Mn; 0,2-0,4% Si; 0,01-0,02% Al; 0,01-0,05% P; 0,01-0,04% S.

2. Приховані домішки. Це кисень, водень, азот, присутні у будь-якій сталі в дуже малих кількостях. Методи їх хімічного визначення складні, тому зміст цих елементів в звичайних технічних умовах не вказується.

3. Випадкові домішки. До цієї групи відносяться домішки, що потрапляють в сталь з шихтових матеріалів або випадково. Так уральські руди містять невелику кількість міді, і вона потрапляє в сталь, виплавлену з цих руд. Сталь, виплавлена з керчинських руд, має миш'як, оскільки ці руди містять миш'як. Переплавка луженого, оцинкованого і іншого скрапу призводить до того, що в метал потрапляють олово, цинк, сурма, свинець і так далі

4. Легуючі елементи. Елементи, що спеціально вводяться в сталь в певних концентраціях з метою зміни її будови і властивостей, називаються легуючими елементами.

У зв'язку з цим сталі, в які для набуття необхідних властивостей спеціально вводять легуючі елементи, називають легованими сталями(леговані сталі іноді називають спеціальними).

## Вплив елементів на поліморфізм заліза

Усі елементи, які розчиняються в залізі, впливають на температурний інтервал існування його алотропічних модифікацій, тобто зрушують точки  $A_3$  і  $A_4$  за температурною шкалою.

Більшість елементів або підвищують точку  $A_4$  і знижують точку  $A_3$ , розширюючи тим самим область існування  $\gamma$ -модифікації (рис. 3.3), або знижують  $A_4$  і підвищують  $A_3$ , звужуючи область існування  $\gamma$ -модифікації.

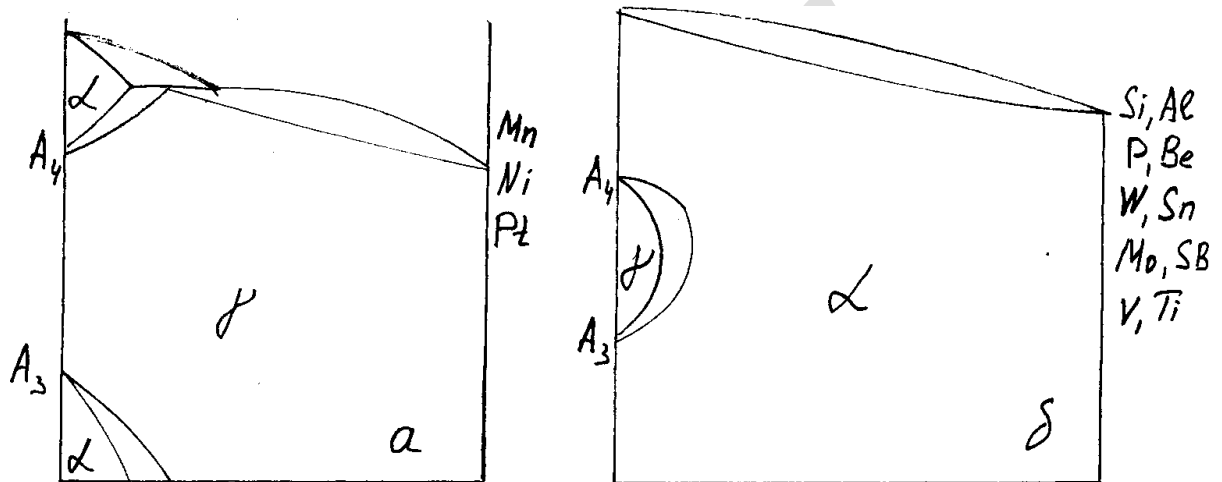


Рисунок 3.3 – Схема діаграм станів залізо-легуючий елемент

При вмісті ванадію, молібдену, кремнію і інших елементів зверху певної межі стійким при усіх температурах є  $\alpha$ -стан. Такі сплави на основі заліза називаються феритними. У відмінності від інших сплавів на основі заліза аустенітні і феритні сплави не мають перетворень при нагріві і охолодженні.

Розглянемо деякі реальні діаграми станів залізо-легуючий елемент.

### Система залізо-хром

Хром має одну модифікацію, яка кристалізується в об'ємно-центрованих ґратках, ізоморфною  $Fe_\alpha$ . Хром знижує обидві точки алотропічного перетворення заліза, але оскільки точка  $A_1$  знижується швидше, ніж  $A_3$ , то врешті-решт обидві точки зливаються, область замикання при 13% Cr.

Поблизу співвідношення Cr : Fe 1:1[% (ат)] утворюється нестійка хімічна сполука FeCr, що означає зазвичай як  $\alpha$ -фаза. Верхня температура існування цього з'єднання дорівнює 815°C.

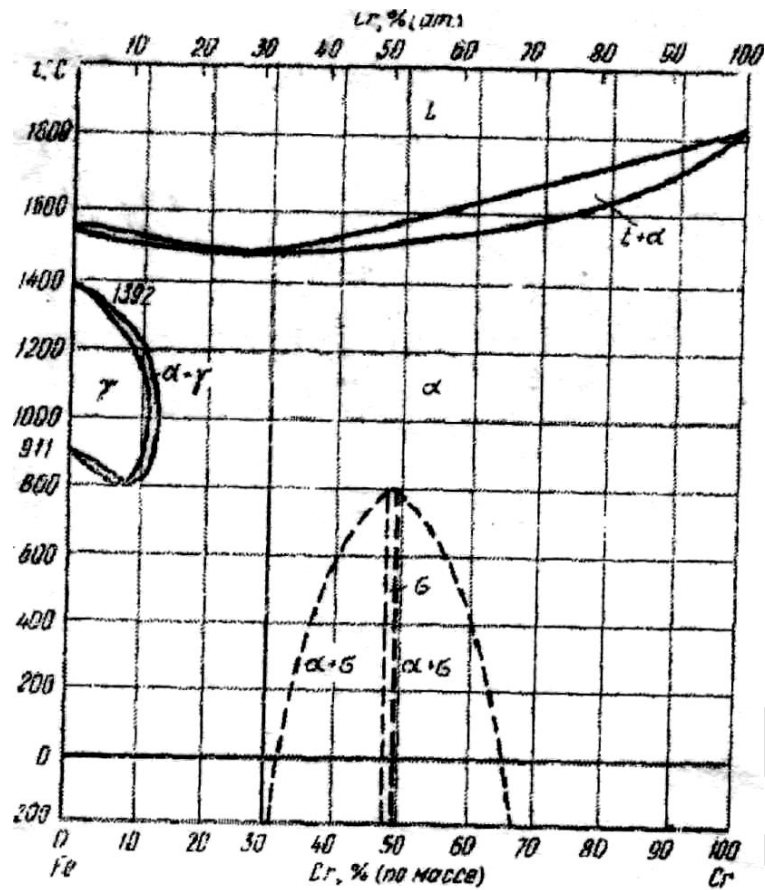


Рисунок 3.4 – Система Fe-Cr

### Вплив легуючих елементів на ферит

Розчинення легуючих елементів на  $Fe\alpha$  відбувається в результаті заміщення атомів заліза атомами цих елементів. Атоми легуючих елементів, відрізняючись від атомів заліза розмірами і будовою, створюють в ґратках напругу, яка викликає зміну її періоду. Усі елементи, що розчиняються у фериті змінюють параметри ґраток фериту в тим більшій мірі, чим більше відрізняються атомні розміри заліза і легуючого елементу. Елементи з атомним радіусом, меншим, ніж у заліза зменшують параметри ґраток, а з великим - збільшують (нікель є виключенням).

Хром зменшує в'язкість значно слабкіше перерахованих елементів, а нікель не знижує в'язкості фериту (рис. 3.5).

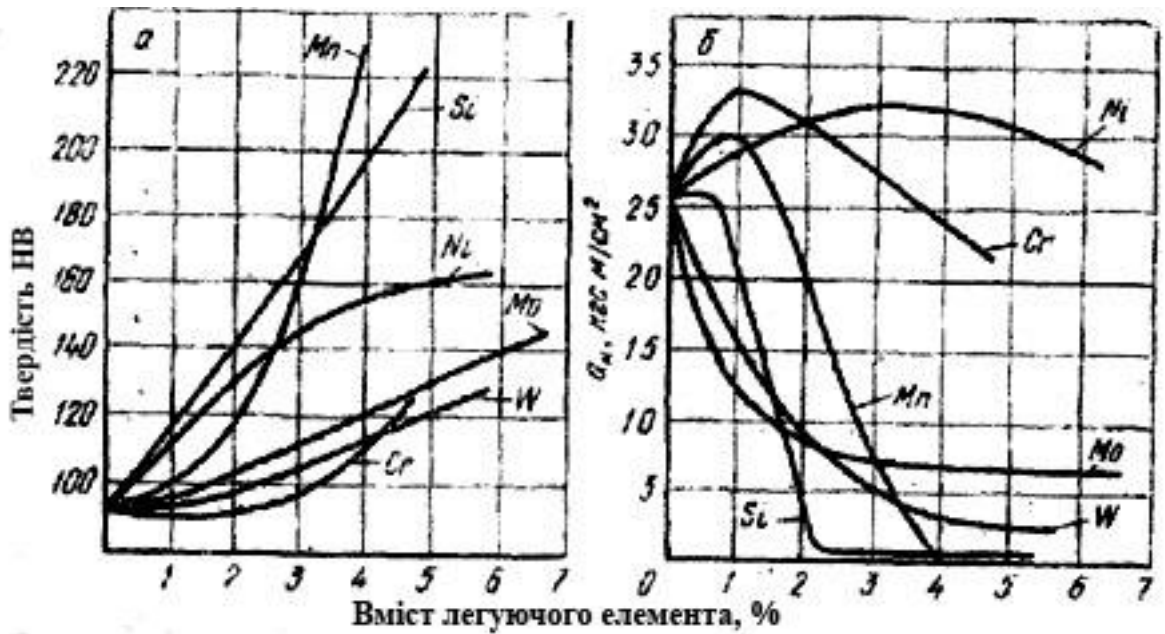


Рисунок 3.5 - Вплив легуючих елементів на властивості фериту:

а - твердість, б - ударна в'язкість

### Вплив елементів на поріг холодноламкості

Характеризує схильність сталі до крихкого руйнування. Наявність хрому в залозі сприяє деякому підвищенню порогу холодноламкості, тоді як нікель інтенсивно знижує поріг холодноламкості, зменшуючи тим самим схильність заліза до крихких руйнувань (рис. 3.6).



Рисунок 3.6 – Вплив легуючих елементів на поріг холодноламкості

Хром не знижує в'язкості, але слабо зміцнює ферит. Або, сильно зміцнюючи ферит, різко знижують його в'язкість (марганець, кремній). Подібний вплив марганцю і кремнію відзначається за наявності  $Mn > 14-1.5\%$  і  $Si > 0.5\%$ .

Зміцнення при утворенні голчастого фериту обумовлене "фазовим" наклепом;  $\gamma$ -зміцнення супроводжується об'ємними змінами, а оскільки воно (в результаті переохолодження) здійснюється при зниженій температурі, то фази зазнають наклепу. У результаті перетворення блокова будова сплаву сильно подрібнюється при наведенні значної напруги II роду.

Низьколегована сталь 9ХФ за властивостями і глибиною загартування мало відрізняється від вуглецевих сталей. У неї введено 0,15-0,30% V для подрібнення зерна і 0,4-0,7% Cr для полегшення загартування.

Таблиця 3.7

## Вплив легуючих елементів на структуру і властивості

Елемент	Схильність до перегрівання	Температура нормалізації, відпалу, загартування	Величина зерна	Міцність і твердість	Пластичність в холодному стані	Опір окисленню при нагріві	Міцність при високих температурах
Кремній (Si)	Мало впливає, але сприяє зневуглецюванню	Підвищує	Трохи зменшує при низькому вмісті; збільшує при 2%	Підвищує	Мало змінює при змісті до 2,5%; при більшому змісті - різко знижує	Підвищує	Дещо підвищує
Марганець (Mn)	Дещо підвищує	Зменшує	Дещо збільшує	Підвищує найпомітніше в низько- і середньовуглецевих сталях	При змісті до 2% в низько- і середньовуглецевій сталі не знижує, у високовуглецевій знижує	Не змінює	Не змінює
Хром (Cr)	Зменшує	У доевтектонічній сталі знижує, а в заевтектонічній підвищує	Мало впливає	Підвищує, особливо після термічної обробки	У сталях перлітового класу мало знижує. Ударна в'язкість в мало- і середньовуглецевій сталі мінімальна при змісті 2,5%	Підвищує особливо при високому вмісті	Підвищує
Молибден (Mo)	Зменшує, але сприяє зневуглецюванню	Підвищує	Сильно зменшує	Підвищує	Мало впливає	Знижує	Помітно підвищує

Вольфрам (W)	Зменшує	Підвищує	Зменшує	Підвищує	Ударна в'язкість після термообробки вища, ніж в сталі без вольфраму	Мало впливає	Підвищує
Ванадій (V)	Зменшує	Підвищує	Сильно зменшує	Підвищує	Підвищує	Трохи знижує	Підвищує до 400 - 500(3)

### 3.3 Методи дослідження матеріалів

Для проведення експерименту були використані методи мікроскопічного аналізу. Результати експерименту фіксувалися за допомогою фотографування зразків. У ході дослідження застосовували мікроскопи МІМ - 7.

Мікроскоп металографічний вертикальний МІМ - 7 призначений для спостереження і фотографування мікроструктури металів в звичайному світлі у світлому і темному полі і в поляризованому світлі у світлому полі.

Набір об'єктивів і окулярів забезпечує збільшення мікроскопа від 60х до 1440х при візуальному спостереженні і від 70 х до 1350 х при фотографуванні. Як джерело світла використана кінопроекційна лампа До - 30 17 В, 170 Вт.

Таблиця 3.8

Збільшення мікроскопа при візуальному спостереженні (крат)

Об'єктиви	Окуляри			
	7 <sup>x</sup>	10 <sup>x</sup>	15 <sup>x</sup>	20 <sup>x</sup>
$F=23.2, A=0.17$	(60)	90	130	170
$F=13.9, A=0.30$	(100)	140	200	300
$F=8.2, A=0.37$	170	240	360	500
$F=0.2, A=0.65$	(250)	320	500	(650)
$F=2.8, A=1.25$	500	720	1080	(1440)
$F=2.8, A=1.00$	500	720	1080	(1440)

Таблиця 3.9

## Збільшення мікроскопа при фотографуванні

Об'єктиви	Окуляри			При фотографуванні через цифрову камеру
	7 <sup>x</sup>	10 <sup>x</sup>	15 <sup>x</sup>	
$F=23.2, A=0.17$	(70)	120	160	170
$F=13.9, A=0.30$	(115)	200	270	280
$F=8.2, A=0.37$	200	340	450	480
$F=0.2, A=0.65$	(260)	440	600	630
$F=2.8, A=1.25$	575	1000	1350	1400
$F=2.8, A=1.00$	575	1000	(1350)	1400

Таблиця 3.10.

## Характеристика окулярів

Позначення	Фокусна відстань, мм	Лінійне поле зору	Шифр
1. Фотоокуляри			
Фотоокуляр 7x	26	21	АТ-18
Фотоокуляр 10x	25	13,4	АМ-33
Симетричний 15x	17	12	АТ-36
2. Окуляри для візуального спостереження			
Гюйгенса 7x зі змінною сіткою	35,9	18	АМ-11
Гюйгенса 10x	25	14	М-10
Гюйгенса 15x	17	8	М-11

Шліф встановлюють на предметний горизонтальний столик 1, який можна пересувати в двох взаємно перпендикулярних горизонтальних площинах за допомогою гвинтів 2, що дозволяє переглядати мікроструктуру в різних ділянках шліфа.



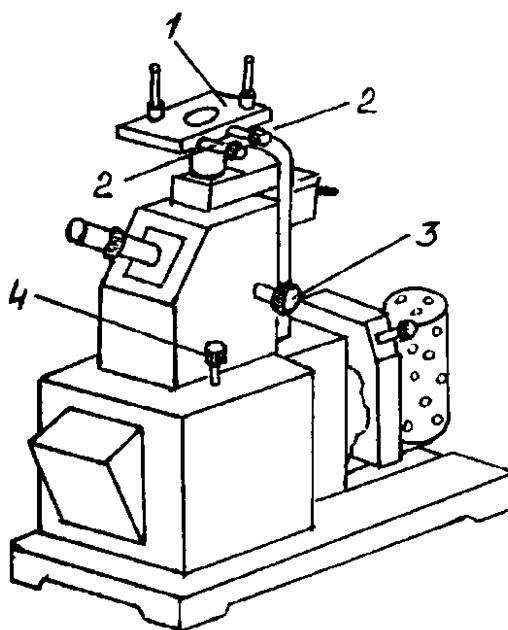


Рисунок 3.7– Схема вертикального металографічного мікроскопа МІМ-7

Випробування разків на мікрокротвердість проводилися на пристрої ПМТ-3. Збільшення - 500 ×. Діапазон застосовуваних навантажень - від 0,002 до 0,500 Гс. Управління навантаженням - ручне.

Обробка результатів вимірювання - автоматична з використанням фотоелектричного окулярного мікрометра (ФОМ-2-16) і Єву або в ручному режимі за допомогою окулярного гвинтового мікрометра МОВ 1 - 15 × або МОВ 1 - 16 ×. Переглядання в темному і світлому полі. Похибка вимірювання - 2%. Обробка результатів вимірювання - автоматична з використанням фотоелектричного окулярного мікрометра (ФОМ-2-16) і Єву або в ручному режимі за допомогою окулярного гвинтового мікрометра МОВ 1 – 15 × або МОВ 1 – 16 ×. Перегляд в темному і світлому полі. Похибка вимірювання - 2%.

Прилад для визначення мікротвердості складається з механізму для вдавлювання алмазної піраміди під невеликим навантаженням і металографічного мікроскопа. У випробовувану поверхню вдавлюють алмазну піраміду під навантаженням 0,05 - 5Н, а розмір одержуваного відбитка 5 - 300мкм. Твердість Н визначають за тією ж формулою, що і твердість по Віккерсу:

$$HV = 1.854 \left( \frac{F}{d^2} \right), \quad (3.1)$$

якщо  $F$  виражена в  $H$ .

Прилад типу ПМТ - 3, розроблений М. М. Хрущовим і Е. С. Берковичем, має штатив 1 вертикального мікроскопа з тубусом переміщається вгору і вниз за допомогою макрометричного гвинта 2 і мікрометричного гвинта 3. На верхній кінець тубуса насаджений окулярний мікрометр 4, а в нижньому кінці закріплені шток 5 з алмазною пірамідою, опак ілюмінатор 6 і об'єктиви 7.

У опак ілюмінаторі є лампочка напругою 6 В, що живиться від електромережі через трансформатор.

Алмазна піраміда має кут між гранями при вершині  $136^\circ$ , тобто такий же, як і в піраміді для вимірювання по Віккерсу (що полегшує перерахунок на числа Віккерса). Навантаження для вдавлювання піраміди створюється вантажами 12, що встановлюються на шток 5. У приладі застосовують вантажі від 1 до 200 г поклад від особливостей досліджуваної структури та завдань дослідження.

Підготовлений зразок (мікрошліф) встановлюють на столі 8 так, щоб досліджувана поверхня була паралельна площині столика і звернена вгору. При випробуванні зразків складної форми це досягається попередньою установкою зразка в пластилін і вирівнюванням положення шліфованій поверхні зразка ручним пресом.

Встановлений мікрошліф дивляться через окуляр. За допомогою двох гвинтів столик переміщається в двох перпендикулярних напрямках, що дозволяє переміщати мікрошліф і вибрати на ньому ділянку, в якому необхідно виміряти твердість.

Отриману середню довжину діагоналі відбитка переводять по таблиці на число твердості. Зазначені вимірювання отриманого відбитку виробляють не менше двох-трьох разів. Числа твердості в таблиці обчислені за формулою і представляють числа твердості по Віккерсу.

Для забезпечення точного виміру мікротвердості прилад повинний бути ретельно настроєний. Завдання настроювання - точне поєднання оптичної осі з віссю навантаження при повороті предметного столика на  $180^\circ$  і правильна установка по висоті механізму навантаження.

При відцентрові (рис. 3.8) необхідно домогтися, щоб відбиток знаходився саме на тому місці, яку вибране під мікроскопом на перехресті ниток окуляр-мікрометра.

При нанесенні відбитків на поверхню шліфа необхідно дотримуватися наступного правила: відстань від центру відбитка до краю зразка має бути не менше двох довжин діагоналі, така ж відстань повинна бути між центрами сусідніх відбитків, довжина діагоналі відбитка - не більше півтори товщини зразка (рис. 3.9).

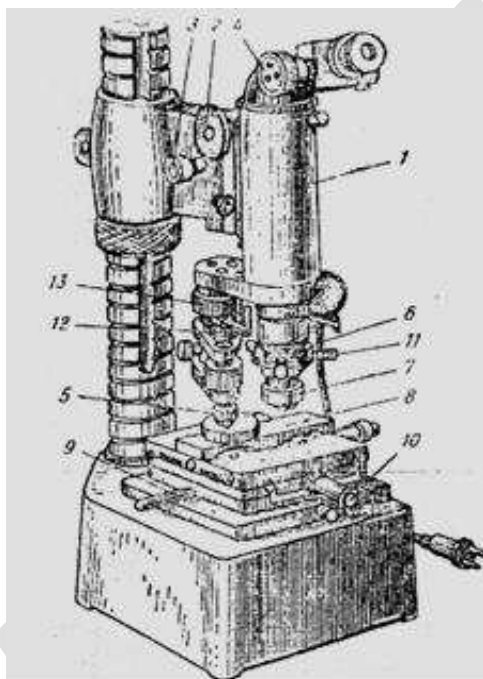


Рисунок 3.8 - Схема приладу ПМТ-3 для вимірювання мікротвердості 1 - мікроскоп; 2 - мікрометричний гвинт, 3 - мікрометричний гвинт, 4 - окулярний мікрометр, 5 - шток з алмазною пірамідою; 6 - опак ілюмінатор; 7 - об'єктив; 8 - стіл для установки мікрошліфів; 9 - ручка столу; 10 - гвинт столу; 11 - регулювальні гвинти; 12 - вантажі; 13 - ручка навантаження

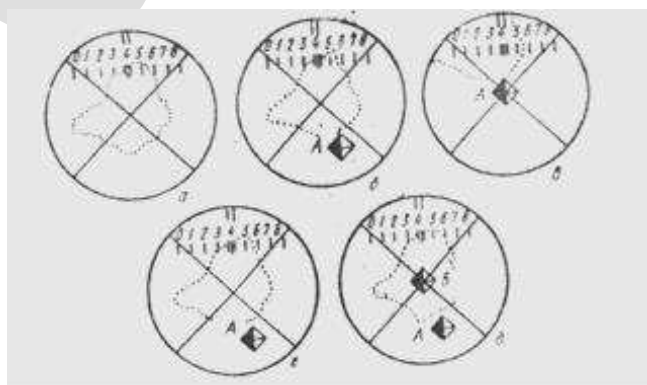


Рисунок 3.9 - Схема центрування приладу ПМТ-3

## Висновки

Виходячи з умов завдання і технічних вимог виготовлення ножа подрібнювача рослинних проб можна використати вуглецеву низьколеговану сталь типу 9ХФ.

З'ясували що, механічні властивості сталей в першу чергу визначаються концентрацією в них вуглецю, від кількості якого залежить і загартованість сталі. Розглянули методи контролю після технологічних операцій, методику металографічного аналізу, вимірювання твердості.

Для проведення експерименту були використані методи мікроскопічного аналізу. Результати експерименту фіксувалися за допомогою фотографування зразків. У ході дослідження застосовували мікроскопи МІМ - 7.

Випробування зразків на мікротвердість проводилися на пристрої ПМТ-3. Збільшення - 500 ×. Діапазон застосовуваних навантажень — від 0,002 до 0,500 Гс.

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБЛЕННЯ МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

#### ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

##### 4.1 Маршрутна технологія виготовлення і термічної обробки деталі «ніж»

Для отримання деталей на виробництві будують технологічний процес, який є поєднанням технічних, економічних і деяких організаційних завдань, що вирішуються при виготовленні тої чи іншої деталі.

При розробленні технологічного процесу потрібно враховувати всі вимоги до деталі, розробити креслення і технічні умови виготовлення, при мінімальних затратах і невисокій собівартості.

При розробці технологічного процесу розроблюють маршрутну технологію виготовлення деталі. Вона повинна містити в собі:

- послідовність технологічних операцій (від початку до кінця);
- обладнання для проведення вказаних операцій.

Маршрутна технологія виготовлення деталі «ніж» (додаток А) зазначена у таблиці 11.

Маршрутна технологія виготовлення деталі – це сукупність послідовних операцій від початку до кінця виготовлення виробу.

#### Етапи отримання деталі

Маршрутна технологія складається з таких етапів:

- Етап 1. Отримання сталі;
- Етап 2. Отримання заготовки;
- Етап 3. Попередня термічна обробка;
- Етап 4. Чорнова механічна обробка;

- Етап 5. Остаточна термічна обробка;
- Етап 6 Чистова механічна обробка;
- Етап 7. Вихідний контроль.

Таблиця 4.1

## Маршрутна технологія виготовлення виробу

№ операц.	Найменування операції	№ переходу	Найменування переходів	Дільниця, основне обладнання	Допоміжне обладнання
1	2	3	4	5	6
Етап 1. Металургійне отримання сталі					
1.1	Видобуток та підготовки вхідних матеріалів	1	Видобуток залізної руди та її збагачення	Гірничо-видобувний комплекс	-
		2	Видобуток вугілля, отримання коксу	Гірничо-видобувний комплекс, коксохімічний комбінат	-
		3	Видобуток пального газу, його підготовка	Газовидобувний комплекс	-
1.2	Металургійне отримання чавуну	1	Підготовки шихти	Шихтовий двір	Магніто-грейферні крани
		2	Підготовки (нагрівання) палива	Енергетичні цехи	Регенеративні теплообмінники
1.3	Металургійне отримання чавуну	1	Підготовки шихти	Шихтовий двір	Магніто-грейферні крани
		2	Підготовки (нагрівання) палива	Енергетичні цехи	Регенеративні теплообмінники
		3	Горіння палива, відновлення заліза і домішок, науглецювання заліза і утворення чавуну та шлаку	Доменний цех	Доменна піч
		4	Вирівнювання хімічного складу чавуну	Міксерне відділення	Міксери

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
1.4	Отримання сталі дуплекс процесом	1	Завантаження твердих шихтових матеріалів, скрапу до конвертеру, заливання рідкого чавуну	Конвертерна піч	Мульди, ковші
		2	Продування розплаву стисненим киснем, завантаження флюсу	Конверторна піч	Фурма
		3	Зливання сталі та шлаку	Конверт. піч	Ковші шлаковози
		4	Завантаження твердих шихтових матеріалів, скрапу до електродугової печі	Електродугова піч	Мульди, ковші
		5	Горіння електричної дуги, завантаження флюсових матеріалів, рафінування сталі	Електродугова піч	Завальні машини
		6	Безперервне розливання	Установка безплиття	-
Етап 2. Отримання заготовки					
2.1	Отримання листового прокату	1	Нагрівання слябу під гарячу обробку тиском	Термічна дільниця	Методична піч
		2	Взламування окалини та обтискання слябу	Вертикальний окалиноламач	Обертові валки
		3	Прокатування слябу в лист	Прокатний стан	Прокатні валки
		4	Розрізання листа	Прокатний стан	Ацителен-кисневі різак
2.2.	Отримання заготовки	1	Штампкування заготовки	Гідравлічний прес	Вирубний штамп
2.2	Контроль	1	Контроль розмірів і шорсткості поверхні	Дільниця контролю	Штангенциркуль ШЦ-1-250-01-2, зразки шорсткості ГОСТ 9378-75

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
Етап 3. Попередня термічна обробка заготовки					
3.1	Попередня ТО	1	Ізотермічний відпал	Термічна дільниця	Камерна піч з висувним подом СДО -8.16.8/11,5
3.2	Контроль	1	Вимірювання твердості	Дільниця контролю	Твердомір ТШ-2, індентор
Етап 4. Чорнова механічна обробка					
4.1	Вхідний контроль якості	1	Ультразвукова дефектоскопія	Ультразвуковий дефектоскоп	-
4.2	Фрезерувальна	1	Фрезерування поверхні та контурів ножа	Вертикально-фрезерний верстат	Набір фрез
4.3	Шліфувальна	1	Шліфування леза та поверхні ножа	Кругло-шліфувальний стан	Круг шліфувальний
Етап 5. Остаточна термічна обробка					
5.1	ХТО	1	Борування	Термічна дільниця	Установка для борування .
5.2	Контроль	1	Контроль товщини шару	Металографічна лабораторія	ПМТ-3
5.3	Зміцнююча ТО	1	Гартування	Термічна дільниця	Шахтна піч для гартування СШЗ - 8.12/10
5.4	Контроль		Вимірювання мікротвердості,	Металографічна лабораторія	ПМТ-3



Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
5.5	ТО	2	Низький відпуск	Термічна дільниця	Шахтна піч для відпуску ПШО - 8.12/711
5.6	Контроль	1	Вимірювання твердості, аналіз мікроструктури після термічної обробки	Дільниця контролю	Твердомір ТК-2, індентор, метал. мікроскоп
Етап 6. Чистова механічна обробка					
6.1	Доведення	1	полірування леза та поверхні ножа	Слюсарний ділянку	Коло полірувальний
Етап 7. Вихідний контроль					
7.1.	Вихідний контроль	1	Контроль геометричних розмірів	Дільниця контролю	Вимірювальний інструмент, зразки шорсткості ГОСТ 9378-75, скоба

#### 4. 2 Вибір та обґрунтування технологічного процесу термічної обробки деталі

Попередня термічна обробка складалася із ступеневого ізотермічного відпалу і охолодження з піччю, після відпалу ми отримали структуру сталі - зернистий перліт.

Загартування проводили при температурі нагрівання 850-880°C витримки протягом 20 хвилин і охолодженні в масляному баку. Структура після загартування - мартенсит загартування і карбіди.

Низьку відпустку проводили при температурі 200-250°C при часі витримки в печі 1,5-2,0 години. Охолодження на повітрі. Структура після відпуску - мартенсит відпуску і карбіди. Графік термічної обробки сталі 9ХФ (рис. 4.1).

Графік класичної (вихідної) термічної обробки

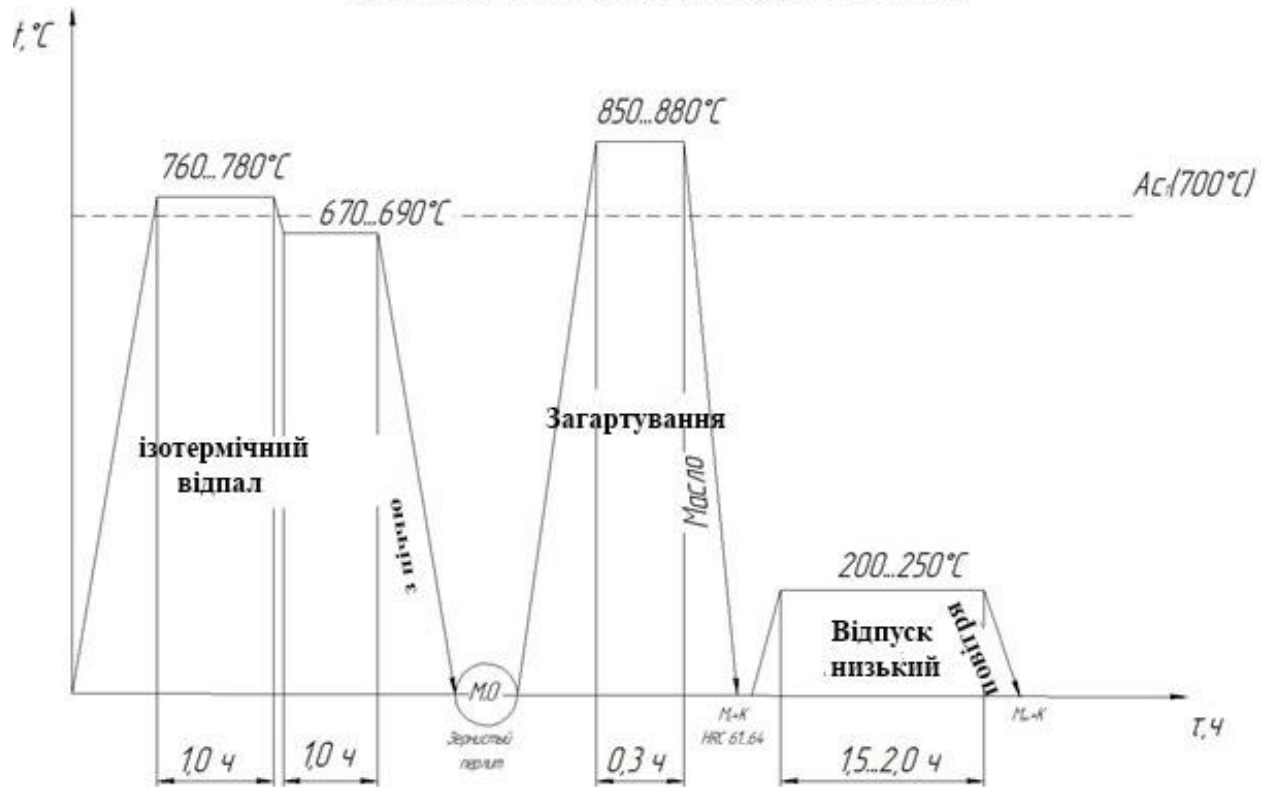


Рисунок 4.1–Графік термічної обробки сталі 9ХФ

На фотографії (рис. 4.2) представлена мікроструктура сталі 9ХФ після ізотермічного відпалу - зернистий перліт і корбід.

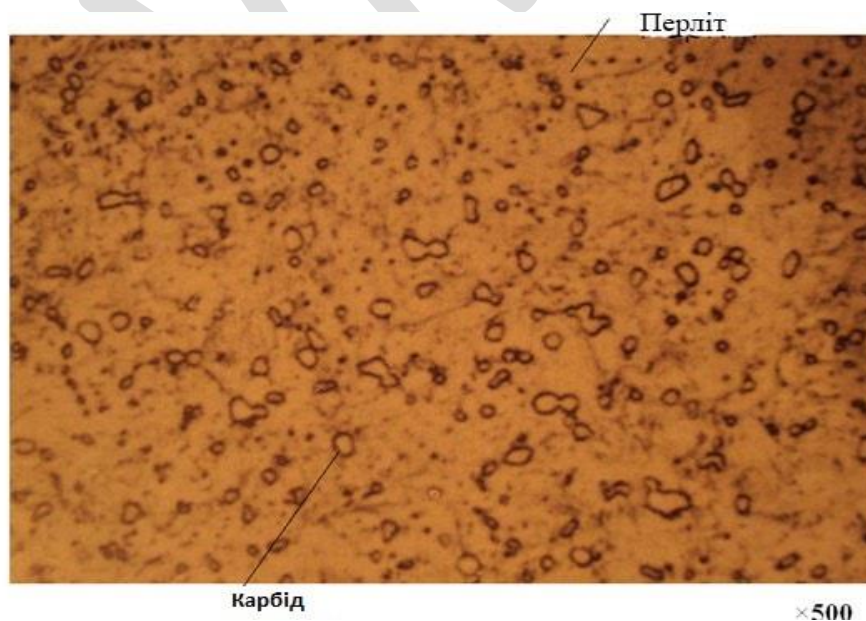


Рисунок 4.2– Фотографія структури сталі 9ХФ після відпалу, твердість 180-260 НВ

## Метод дифузійного борування

Попередня термічна обробка складалася із ступінчастого ізотермічного відпалу і охолодження з піччю, після відпалу ми отримали структуру сталі - зернистий перліт.

Борування проводили при температурі 900-1050°C протягом 2-3 годин в порошковому карбюризаторі.

В якості основи середовищ, що насичують, при цьому методі борування застосовують порошок борвмісної речовини (табл. 4.2).

Перед використанням усі компоненти порошкових середовищ, що насичують, мають бути просушені і подрібнені до необхідних розмірів, а карбід бору додатково прожарений при 350-400°C впродовж 1,5-2 ч. Реакційна суміш перед використанням перемішується у барабанних змішувачах. Змішування проводиться при швидкості обертання барабана близько 60 про/мін впродовж 30 хв. Одночасно зі змішуванням відбувається і подрібнення деяких компонентів. Для просіювання компонентів суміші і готових сумішей використовують вібраційне сито з електроприводом і набором сіток з розміром осередків від 2-3 мм до 0,2-0,3 мм.

Таблиця 4.2.

Склад порошкового карбюризатора для проведення процесу борування

Метод	Спосіб	Склад насичувального середовища, % по масі	Режим насичування		Товщина шару, мкм	Фазовий склад
			t, °C	τ, год		
Порошковий	В герметизованих контейнерах	Порошок аморфного бору або карбиду бору 30-40% інертної домішки (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> , MgO)+1-3% активатору (NH <sub>4</sub> Cl, NaF, AlF <sub>3</sub> та ін.)	950 - 1050	3-5	100 - 300	FeB+Fe <sub>2</sub> B

Порошок карбіду бору використовується для насичення багаторазово (від 10 до 30 разів). Інші середовища, що насичують, регенерують після 2-5 циклів борирования шляхом добавки до відпрацьованої суміші 10-30% свіжіше.

Упаковка контейнера проводиться в наступному порядку. На дно його поміщають ущільнений шар суміші завтовшки 20-30 мм. Потім укладають шар деталей так, щоб відстань до стінок тигля і між деталями була не менше 15-20 мм. Деталі засипають сумішшю, яка потім ущільнюється. Відстань між шарами деталей повинно бути не менше 20 мм, а від верхнього краю до кромки тигля – не менше 50 мм.

Сам процес насичення в порошках можна проводити різними способами: в герметизуємих контейнерах і контейнерах, що не герметизуються, в нейтральних і захисних атмосферах, у вакуумі, в псевдокиплячому шарі борвмісних порошоків. Найбільш поширеним є спосіб «твердого» борирования в контейнерах, що герметизуються.

Герметизацію контейнера зазвичай здійснюють за допомогою плавкого затвора. На поверхню суміші укладають лист азбесту, на азбест засипають шар сухого піску завтовшки 40-50 мм і борний ангідрид в такій кількості, щоб після розплавлення на поверхні піску утворився суцільний шар скла — плавкий затвор.

Борний ангідрид розм'якшується при порівняно низьких температурах і герметизує контейнер від пічних газів. У міру підвищення температури ефективність роботи затвора зберігається за рахунок розчинення в нім піску, що підвищує в'язкість розплаву.

Температура формування плавкого затвора повинна знаходитися в межах 500-700°C. Підготовлені до насичення контейнери загрузають в піч, розігріту до температури процесу.

Після охолодження тигля плавкий затвор розбивають, витягають деталь.

Загартування проводили при температурі нагріву 850-880°C витримки протягом 20 хвилин і охолодженні в масляному баку. Структура після загартування – мартенсит загартування і карбіди.

Низьку відпустку проводили при температурі 200-250°C при часі витримки в печі 1,5-2,0 години. Охолодження на повітрі. Структура після відпустки - мартенсит відпустки і карбіди. Графік термічної обробки сталі 9ХФ (рис. 4.3).

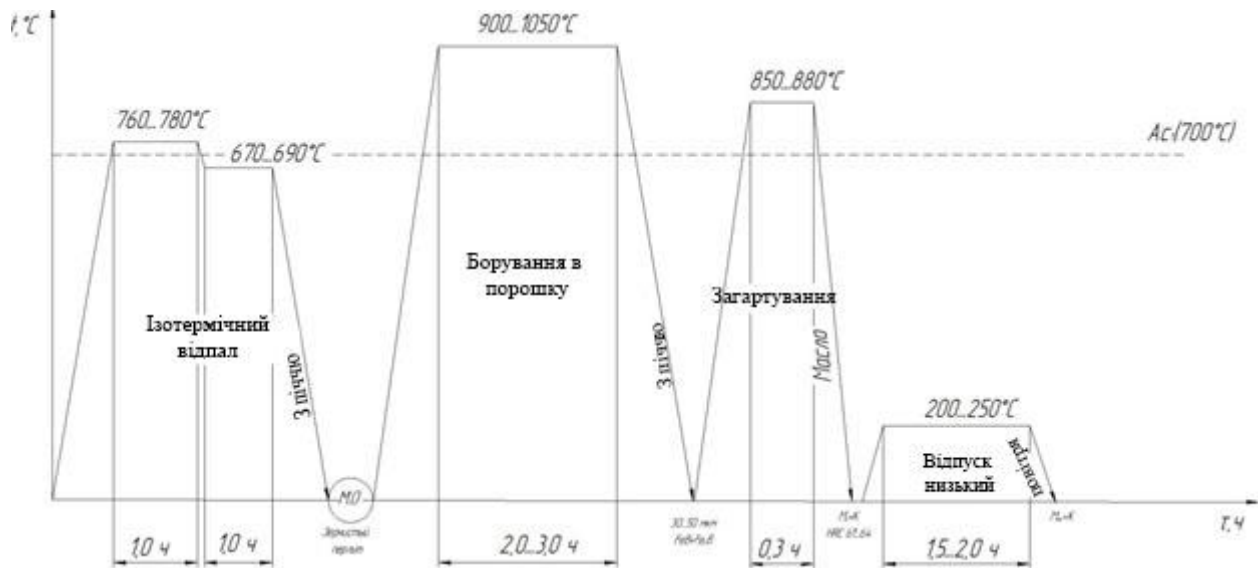


Рисунок 4.3—Графік термохімічної обробки сталі 9ХФ

На фотографії (рис. 4.4) представлена структура сталі 9ХФ після борування. Серцевина сталі – перліт, поверхня «борований шар».



Рисунок 4.4—Фотографія структури сталі 9ХФ після борування, товщина шару 60 мкм, твердість 1200 - 1400 МПа

## Висновки

В четвертому розділі було обрано технологію отримання виробу оптимальну при заданій серійності виробництва та розроблено маршрутну технологію виготовлення деталі.

Розробка маршрутної технології виготовлення є важливим етапом в створенні проекту отримання виробу. Маршрутну технологію поділяють на декілька етапів до яких входять: отримання сталі, отримання заготовки, попередня термічна обробка, чорнова механічна обробка, остаточна термічна обробка, чистова механічна обробка, вихідний контроль.

Деталь ніж виготовляється з листової заготовки, шляхом її обробки на фрезерувальному верстаті. Чистова обробка забезпечується шліфуванням поверхні ножа та його леза.

Як показали результати дослідження в ході проведення зміцнюючої термічної обробки (загартування + низький відпуск) сталі 9ХФ нами було отримано структура - мартенсит відпустки +  $Fe_3C$  і  $VC$ , твердість 58-60 HRC.

Після проведення процесу борування на поверхні стали 9ХФ був отриманий борованої шар товщиною 60 мкм, твердість 1200 - 1400 МПа.

## РОЗДІЛ 5

### РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 5.1 Вибір обладнання для проведення термічної обробки

Устаткування термічного цеху повинно бути розташоване так, щоб був вільний доступ до всіх печей, мийних машин, гартувальних баків і щоб між ними був вільний простір ні чим не закладене і не заставлене. Особливо важливо, щоб були досить широкі і вільні проходи біля дверей печей і на шляху до гартівних баків.

Все обладнання ділиться на три групи:

- Основне обладнання;
- Додаткове обладнання;
- Допоміжне обладнання.

До основного обладнання відноситься устаткування, що застосовується для виконання технологічних операцій термообробки, пов'язаних з нагріванням і охолодженням деталі:

- Печі;
- Нагрівальні установки;
- Охолоджуючі пристрої.

До додаткового обладнання належить обладнання для виконання додаткових технологічних операцій в ТЦ - правка та очищення деталей:

- Правильні преси;
- Очисні установки (травильні ванни, дробоструйні апарати, мийні машини і т.д.).

До допоміжного устаткування відносяться установки для приготування карбюратора і контрольованих атмосфер, підйомно-транспортне обладнання,

теплоенергетичне обладнання (апарати для охолодження гартувальної рідини, санітарно-технічне обладнання (витяжки), повітродувки, вентилятори).

Вибір основного обладнання починається з аналізу використовуваного на заводі обладнання, обговорення його достоїнств і недоліків. Також необхідно розглянути які види обладнання мають більшу продуктивність, забезпечують кращу якість термообробки, краще механізовані й автоматизовані.

Для ізотермічного відпалу було обрано шахтна електропеч з вертикальним завантаженням типу СШЗ.

Для борування застосовують спеціалізовані установки, зображення якого приведено на рисунку 5.1.

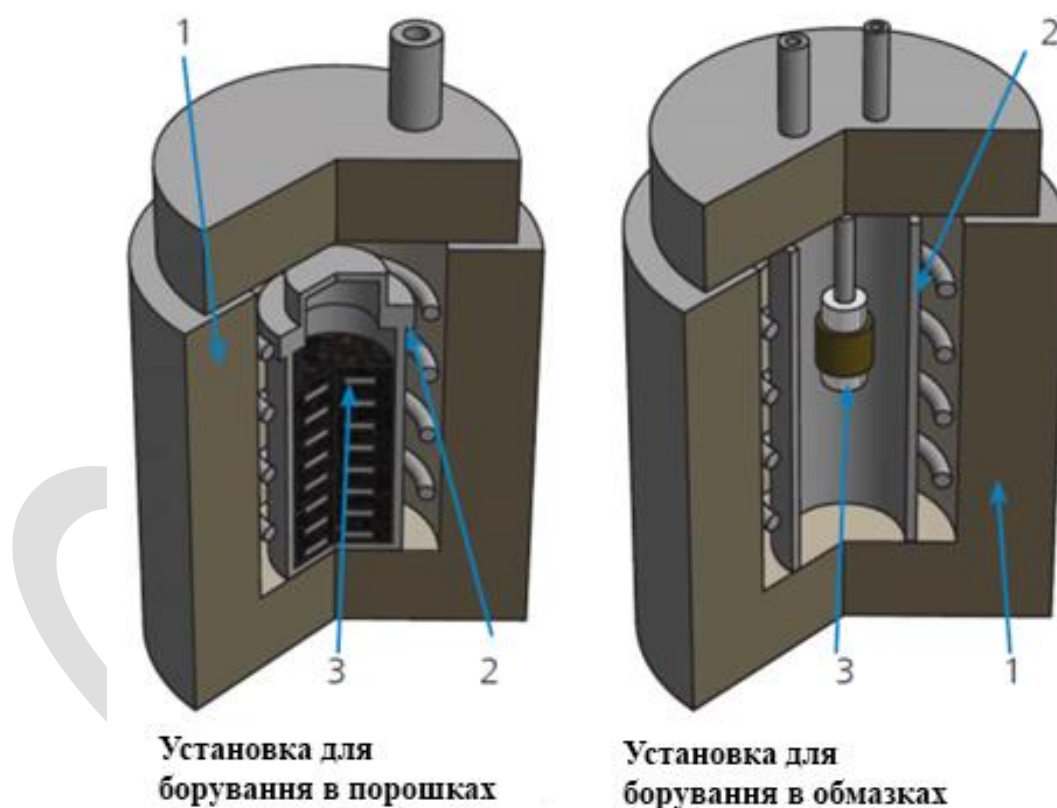


Рисунок 5.1–Установка для проведення борування»

Установка для борування в порошках включає в себе піч (1), контейнер з плавким затвором (2) з деталями і порошком (3). Борування сталей і чавунів проводиться як в порошках власного виробництва, так і в порошках німецької фірми VorTec.



Для деталей, у яких необхідно захищати певні поверхні від зміцнення рекомендується використовувати технологію борування в обмазках. Обмазка наноситься тільки на ті поверхні, які необхідно зміцнювати. Дифузійний відпал проводиться в муфельних печах із захисною атмосферою, що запобігає окисленню поверхні деталей.

Устаткування для борування в обмазках включає в себе піч (1) з герметичним муфелем (2) в якому знаходяться деталі з нанесеною обмазкою (3).

Шахтні електропечі з вертикальним завантаженням типу СШЗ (рис. 5.2) призначені для нагріву під загартування; нагрівання під ковку та інших видів гарячої деформації; відпалу з метою зняття внутрішніх напружень і зниження твердості сталі; нормалізації лиття або поковок з метою усунення грубозернистої структури; проведення інших термічних процесів з температурою нагріву до 1200°C.

Для термообробки виробів призначена камера нагріву у вигляді шахти, утвореної вогнетривкої кладкою. В камеру нагрівання встановлюється огорожа з жароміцної сталі, служить для захисту футеровки і нагрівачів при завантаженні оброблюваних деталей.



Рисунок 5.2 – Фото печі СШЗ 8.12/12

4) Для низького відпуску обираємо шахтну піч типу. Шахтні електропечі опору (рис. 5.3) призначені для світлої термообробки легованих сталей в захисній атмосфері.

Електропечі СШО складаються з наступних основних частин: кожуха, футеровки, нагрівачів, кришки, механізму підйому і повороту кришки завантажувальних пристосувань. Кожух зварений з листової та профільної сталі. Футеровка виконана з вогнетривких і теплоізоляційних матеріалів.

На внутрішній поверхні футеровки розміщені зигзагоподібні нагрівачі, виконані із сплаву високого опору. Кришка електропечі зварна, футерована. Механізм підйому і повороту кришки пневматичний. Харчування нагрівачів здійснюється від мережі змінного струму через перетворювачі напруги.

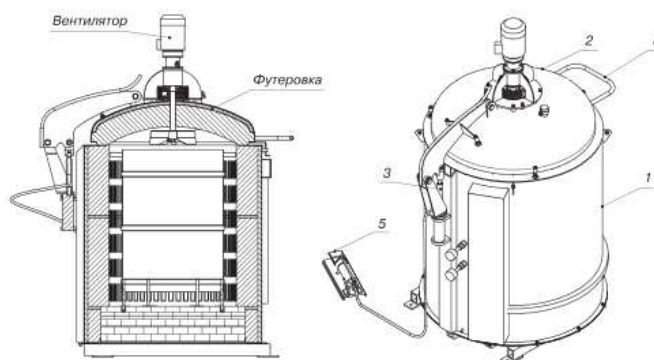


Рисунок 5.3 – Схема електричної відпускнуої шахтної печі типу СШО: 1 – каркас печі, 2 – кришка, 3 – гідроциліндр, 4 – ручка, 5 – гідронасос

## 5. 2 Розрахунок обладнання термічного ділянки

Для розрахунку необхідної кількості обладнання вибираємо спосіб за укрупненими показниками, який призначений для проєктних завдань, як в нашому випадку.

Розрахунок полягає в тому, що кількість потрібного устаткування визначається виходячи з продуктивності прийнятого обладнання — годинний і питомої. Бо продуктивність печей залежить від тієї операції, яка на ній

виконується, то в проєктних завданнях спочатку складаємо відомість розподілу деталей програми за операціями.

Потім виробляємо визначення заборгованості печі, тобто кількість годин роботи печі, які потрібні для обробки однієї групи (садки) деталі по програмі. Розрахунок необхідної кількості обладнання за укрупненими показниками виробляємо, користуючись відомостями з таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Середня продуктивність печей на окремих операціях в кг / год.

Тип печі	Операція термічної обробки	Середня продуктивність, кг / год
Шахтна піч (вертикальна) СШЗ 8.12 / 12	Ізотермічний відпал	100
Установка для проведення борування	Борування	70
Загартовуюча піч СШЗ 8.12/12	Загартування	100
Шахтна електропіч з циркуляцією повітря СШО-6.12/7	Низькотемпературний відпуск	100

Приймаємо програму термообробки ножів рівній 280000 кг в рік.

При відпалі в обраній печі СШЗ 8.12 / 12 з продуктивністю 100 кг / год і програмою 280000 кг в рік, заборгованість складі:

$$\frac{280000}{100} = 2800 \text{ годин.} \quad (5.1)$$

Це кількість годин ділимо на фонд часу роботи обладнання при двозмінній роботі близько 3200 годин:

$$\frac{2800}{3200} = 0,87 \text{ печі} \quad (5.2)$$

ККД при цьому:

$$\frac{0,87 \times 100}{1} = 87\%. \quad (5.3)$$

Отже, розрахункова кількість печей складе - 1 піч для ізотермічного відпалу СШЗ-8.12 / 12

Визначаємо кількість печей на операції борування. Річна заборгованість печі при продуктивності 70 кг / год:

$$\frac{280000}{70} = 4000 \text{ годин.} \quad (5.4)$$

Визначаємо розрахункову кількість печей:

$$\frac{4000}{3200} = 1,25 \text{ печі.} \quad (5.5)$$

Приймаємо кількість печей на цій операції рівним двом при ККД:

$$\frac{1,25 \times 100}{2} = 62,5\%. \quad (5.5)$$

Визначаємо кількість печей для загартування. Річна заборгованість відпускнуї печі СШЗ 8.12 / 12

при продуктивності 100 кг / год:

$$\frac{280000}{100} = 2800 \text{ годин.} \quad (5.6)$$

Визначаємо кількість печей при двозмінній роботі і фонді часу 3200 годин:

$$\frac{2800}{3200} = 0,875 \text{ печі.} \quad (5.7)$$

Кількість печей для загартування приймаємо рівним 1 печі з ККД ~ 87,5%.

Визначаємо кількість печей для відпустки. Річна заборгованість відпускнуї печі СШО-6.12 / 7 при продуктивності 100 кг / год:

$$\frac{280000}{100} = 2800 \text{ годин.} \quad (5.8)$$

Визначаємо кількість печей при двозмінній роботі та фонді часу 3200 годин:

$$\frac{2800}{3200} = 0,875 \text{ печі.} \quad (5.9)$$

Кількість печей для відпустки приймаємо рівним 1 печі з ККД ~ 87,5%.

Отже, для проектування термічної ділянки приймаємо:

- для ізотермічного відпалу — піч СШЗ 8.12 / 12 - 1 одиниця;
- спеціальна установка для борування - 2 одиниці.
- для загартування — піч СШЗ 8.12 / 12 - 1 одиниця;
- для відпустки — піч СШО-6.12 / 7- 1 одиниця.

### 5.3 Розробка планування термічного ділянки і вантажопотоків

До складу термічної ділянки входять:

- виробничі площі, на яких розташовується обладнання;
- допоміжні ділянки — склади для виробів, допоміжних матеріалів, майстерні електрика і механіка, приміщення ВТК;
- конторські або службові приміщення;
- побутові приміщення.

Оптимальним варіантом для термічного цеху є одноповерхова будівля прямокутної форми з одним-трьома прольотами. Таке компонування забезпечує найкраще висвітлення і природне видалення шкідливих газів, надлишок теплоти. Якщо будівля входить до складу будь-якого корпусу, то термічну ділянку необхідно розташовувати найбільшою протяжністю вздовж зовнішнього боку корпусу.

Ширина будівлі або прольоту вибирається відповідно до стандартного розміру мостових кранів, тобто кратній 3. Найбільш зручна ширина прольотів кратна 6, тобто 12, 18, 24, 30 м і т. Д. Відстань між колонами по довжині ділянки

(крок колон) рекомендується 6 або 12 м. Опори під колони розраховуються в залежності від маси будівель і допустимого навантаження на ґрунт. Колони виконуються залізобетонними або залізними. Висота ділянки залежить від кількості шкідливих газовиділень і тепловиділень, висоти обладнання з урахуванням його ремонту, максимальної довжини термічно оброблюваних виробів і типу підйимально-транспортного устаткування. Висота термічної ділянки частіше всього обирається рівної 7,2; 8,4; 9,6 или 10,8м.

Будівля термічної ділянки має бути побудовано з негорючих матеріалів, відповідних 1-2-го ступеня вогнестійкості.

Дах цеху виконується з жаростійких і теплоізолювальних матеріалів з ліхтарем, які призначені для додаткового освітлення ділянки та провітрювання його в теплу пору року.

Підлога термічної ділянки повинен мати тверде і міцне покриття, особливо на проїзній частині та на ділянках складування, не ковзати та добре очищатися від бруду. Підлога на ділянках хіміко-термічної обробки виконується під нахилом з водонепроникних матеріалів, що дозволяє проводити його очищення за допомогою струменя води. Нормативні дані необхідної площі на одиницю обладнання: для камерної електропечі — виробнича площа на одиницю обладнання - 1,5-2,5 м, загальна площа - 20-35 м.

При виконанні планування необхідно дотримуватися такого правила:

- обладнання розташовують таким чином, щоб забезпечити односпрямоване переміщення виробів усередині ділянки;
- обладнання з великим газо- і виділенням тепла встановлюють найбільш протяжної сторони уздовж зовнішньої стіни будівлі;
- крани наносять умовно пунктирними лініями;
- допоміжне обладнання розташовують у підвалі, приямках глибиною не менше 2,5 м, на між пролітних ділянках шириною 3- 6 м, а також на майданчиках, піднятих над підлогою на 3 - 4 м;
- передбачають 1 2, а іноді та більше проїздів для між цехового і внутрішньоцехового транспорту. При односторонньому русі ширина проїзду

вибирається 2,5 - 3 м, при двосторонньому - 5 м. Крім проїздів необхідно передбачити також проходи шириною 1,5 - 2,5 м;

- ділянки зі шкідливими умовами праці (дробоструминні, травильні та т.д.) мають у своєму розпорядженні в ізольованих приміщеннях з хорошою вентиляційною системою;

- обладнання з небезпечними умовами праці (правильні преси, перетворювачі частоти та т.п.) захищають металевою сіткою;

- ретельно дотримуються встановлених відстані між обладнанням, а також обладнанням і стінками будівлі. Так, відстань між печами безперервної дії має бути не менше 3 - 4 м, а між печами періодичної дії 1,5 - 3 м. Відстань між невеликими печами періодичної дії допускається 1 - 1,5 м. При цьому для дотримання норм техніки безпеки гартівні баки не слід розміщувати поблизу проходів та проїздів;

- вказують габаритні розміри обладнання, основні розміри (прив'язку) від обладнання до колони, стан і між обладнанням;

- вказують форму і розміри підвалів (прямків) і їх глибину, схематично позначають штриховими лініями майданчика для складування виробів і допоміжних матеріалів, місця ВТК;

- резервуари для зберігання палива, масел, бак для аварійного зливу масла у своєму розпорядженні за межами ділянки.

- на ділянці слід передбачати не менше двох виходів;

- планування супроводжують специфікацією встановленого обладнання.

На плані ділянки вказують колони з осями. Розбив очні осі продовжують за межі планів і на кінцях в колах діаметром 8 мм проставляють їх позначення. Поздовжні геодезичні осі позначають великими літерами українського алфавіту від низу до верху, а поперечні — арабськими цифрами зліва направо.

Устаткування, що потрапляє в розріз, зображують розрізаним, а решта зовнішнім виглядом у вертикальній площині з розмірами. Розрахунок загальної площі цеха:

$$P_{\text{общ}} = P_{\text{пол}} + P_{\text{доп}} + P_{\text{прох}} \quad (5.10)$$

де  $P_{\text{пол}}$  - корисна виробнича площа, необхідна для розташування обладнання;

$P_{\text{доп}}$  - додаткова площа необхідна для розміщення технологічного оснащення, деталей до і після термічної обробки, технологічних і допоміжних матеріалів, для організації міжопераційних складів, місць для формування садок і ін.;

$P_{\text{прох}}$  - площа проходів та проїздів.

Приймаємо  $P_{\text{пол}} = 45 \text{ м}^2$  на одиницю обладнання.

$$P_{\text{пол}} = 45 \cdot 4 = 180 \text{ м}^2 \quad (5.11)$$

Площі ділянки для складування виробів, оснащення  $P_{\text{доп}}$  та площадці проходів  $P_{\text{прох}}$  визначається як частина від  $P_{\text{доп}}$ .

$$P_{\text{доп}} = 0,5 P_{\text{пол}} = 0,5 \cdot 180 = 90 \text{ м}^2$$

$$P_{\text{прох}} = 0,5 P_{\text{пол}} = 0,5 \cdot 180 = 90 \text{ м}^2$$

Тоді  $P_{\text{общ}} = 180 + 90 + 90 = 360 \text{ м}^2$

Довжина цеху визначається за допомогою формули:

$$L = P_{\text{общ}} / B, \quad (5.12)$$

де  $B$  — загальна ширина цеху.  $B = 12 \text{ м}$

$$L = 360 / 12 = 30 \text{ м}$$

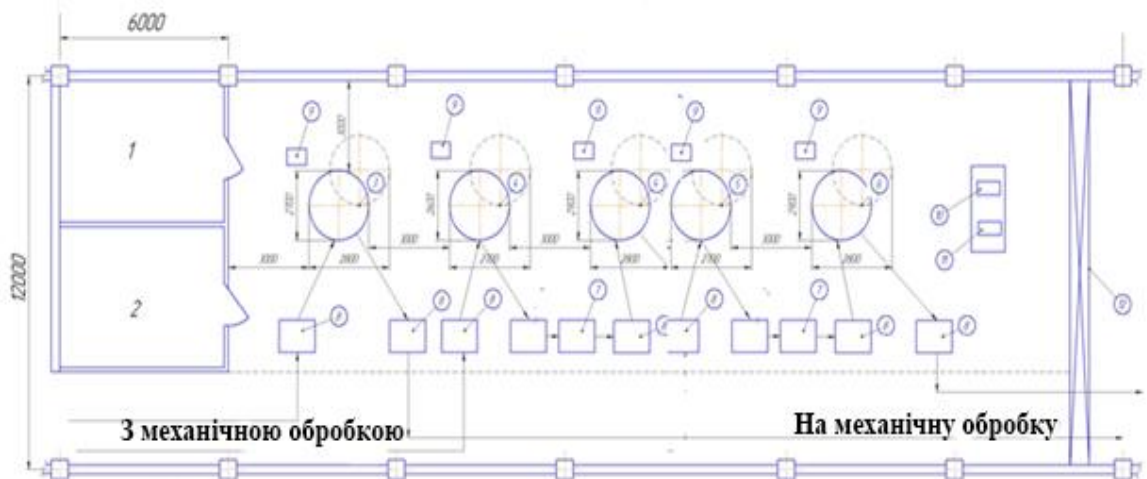


Рисунок 5.4 – Планування ділянки виготовлення



## Специфікація обладнання, що застосовується

### Основне обладнання

1. Побутове приміщення;
2. Кімната майстрів;
3. Піч СШЗ 8.12 / 12;
4. Спеціальна установка для борування;
5. Піч СШЗ 8.12 / 12;
6. Піч СШО-6.12 / 7- 1.

### Допоміжне обладнання

7. Масляний бак;
8. Мийна машина;
9. Місце для складування заготовок;
10. Шафа управління

### Обладнання контролю

11. Твердомір ТШ-2; 12. Твердомір ТК-2; 13. Електротельфер.

### Висновки

Також було обрано основне обладнання для проведення термічної обробки та розрахована його необхідна кількість. Для проведення ізотермічного відпалу було піч СШЗ 8.12 / 12, для борування – спеціалізовану установку для проведення порошкової хіміко-термічної обробки. Для гартування – шахтну електричну гартувальну піч, а для низькотемпературного відпуску – шахтну електричну відпускну піч.

## ВИСНОВКИ

В ході роботи біли проаналізовані умови експлуатації ножа апарату подріблення рослинних проб. Ніж знаходиться в експлуатації в складному напруженому стані. Він піддається високим контактним напруженням та тиску на ріжучу кромку при подрібненні та змішанні оброблюваного матеріалу. Ріжуча кромка ножа знаходиться при цьому в умовах, близьких до нерівноважного всебічного стиску. Ніж піддається також впливу підвищених напружень, що розтягують як наслідок дії центротяжних сил. Робоча кромка зазнає теплового впливу внаслідок тепла, що виділяється при різанні та терті.

Проаналізувавши можливі причини виходу з ладу ножа, можна зробити висновок, що матеріал, з якого він виготовляється, повинен мати наступні властивості:

- для забезпечення процесу різання різальна частина ножа повинна мати достатню твердість в межах 50-55 HRC і зносостійкістю;
- прогартованість  $\geq 3$  мм;
- мікроструктура різальної частини — мартенсит;
- межа міцності 900 -1100 МПа;
- ударна в'язкість 120-250 Дж/см<sup>2</sup>.

Як показав патентно-літературний пошук найдоцільніше для виготовлення ножа апарату подрібнення рослинних проб застосувати інструментальну сталь 9ХФ.

Наявність хрому в залізі сприяє підвищенню прогартованості сталі, також деякому підвищенню порогу холодноламкості.

З метою підвищення поверхневої твердості, зносостійкості, теплостійкості до температури 900-950°C і корозійній стійкості в якості зміцнюючої обробки був обраний процес хіміко-термічної обробки – борування.

Для проведення експерименту були використані методи мікроскопічного аналізу. Результати експерименту фіксувалися за допомогою фотографування зразків. У ході дослідження застосовували мікроскопи МІМ - 7.

Випробування зразків на мікротвердість проводилися на пристрої ПМТ-3. Збільшення - 500 ×. Діапазон застосовуваних навантажень — від 0,002 до 0,500 Гс.

В четвертому розділі було обрано технологію отримання виробу оптимальну при заданій серійності виробництва.

Деталь ніж виготовляється з листової заготовки, шляхом її штампування та обробки на фрезерувальному верстаті. Чистова обробка забезпечується шліфуванням поверхні ножа та його леза.

Як показали результати дослідження в ході проведення зміцнюючої термічної обробки (борування з наступним гартуванням та низьким відпуском) мікроструктура основи сталі 9ХФ – мартенсит відпуску і карбіди, твердість 58-60 HRC, а на поверхні – борований шар, товщиною 60 мкм, твердість 1200 - 1400 МПа.

Також було обрано основне обладнання для проведення термічної обробки та розрахована його необхідна кількість.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Галиахметов И.Г. Конструкционные материалы центробежных и винтовых компрессоров промышленного применения. Учебник для вузов. Казань : изд-во «Фэн», 2004. 80 с.
2. Шнепп В.Б. Конструкция и расчет центробежных компрессорных машин. Учебное пособие. Москва : Машиностроение, 1995. 240 с.
3. Сухотина А.М. Коррозия и защита химической аппаратуры. справочное руководство; том шестой. Производство хлора и его неорганических соединений. Учебное пособие. Ленинград : «Химия», Ленинградское отделение, 1972. 368 с.
4. Сухотина А.М. Коррозия и защита химической аппаратуры. справочное руководство; том восьмой. Производство хлора и его неорганических соединений. Учебное пособие. Ленинград : «Химия», Ленинградское отделение, 1989. 395 с.
5. Ульянина Е.А. Структура и коррозия металлов и сплавов. Справочник. Москва : Metallurgy, 1989. 395 с.
6. Маттссон Э. Электрохимическая коррозия. Учебное пособие. Москва : Metallurgy, 1991. 156 с.
7. Шрейдер А.В. Сероводородное коррозионное растрескивание и пути защиты от него нефтехимического оборудования. Учебное пособие. Москва : ЦНИТЭНЕФТЕХИМ, 1987. 264 с.
8. Брагін Б.Ф. Трубопровідний гідротранспорт твердих матеріалів. Навчальний посібник. Київ : ІСДО, 1993. 327 с.
9. Когаев В.П. Прочность и износостойкость деталей машин. Учебник для вузов. Москва : Высшая школа, 1991. 319 с.
10. Гаркунов Д.Н. Триботехника. Учебное пособие. Москва : Машиностроение, 1989. 327 с.
11. Карелин В.Я. Насосы и насосные станции : учебник для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. Учебник для вузов. Москва : Стройиздат, 1986. 320 с.

12. Алехин В.П. Структурные и энергетические особенности кинетики микропластической деформации в приповерхностных слоях материалов. Учебное пособие. Москва : Наука, 1973. 122 с.
13. Любарский И.М. Металлофизика трения. Учебное пособие. Москва : Металлургия, 1976. 176 с.
14. Костецкий Б.И. Надежность и долговечность машин. Учебник для вузов. Киев : Техника, 1975. 406 с.
15. Костецкий Б.И. Исследование динамического состояния поверхностных слоев при износе металлов. Учебное пособие. Киев : УкрНИИТИ, 1970. 105 с.
16. Тарельник В.Б. Триботехнологія деталей машин. Навчальний посібник. Суми : МакДен, 2010. 264 с.
17. Борисенко Г.В., Васильев Л.А., Волошин Л.Г. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник. Москва : Металлургия, 1981. 424 с.
18. Способ диффузионного хромирования изделий из углеродистых легированных сталей: пат. № 2010886 РФ, МПК С23С10/38, С23С12/00. /Г.В, № 4953961/02; заявл. 20.05.1991; опубл. 15.04.1994. 3 с.
19. Самсонов Г.В. Электроискровое легирование металлических поверхностей. Учебное пособие. Киев : Наукова думка, 1976. 220 с.
20. Способ электроэрозионного легирования: пат. №1734968 СССР, МПК В23Н9/00, № 4484364; заявл. 20.09.1988; опубл. 23.05.92, Бюл. № 19. 2 с.
21. Богорад Л. Я. Хромирование. изд. 5-е, перераб. и доп. Учебник для вузов. Ленинград : Машиностроение, 1984. 97с.
22. Способ электролитического хромирования: пат. № 2125125 РФ, МПК С25D3/04, № 97121625/02; заявл. 24.12.1997; опубл. 20.01.1999. 3 с.
23. Бернштейн М.Л., Рахштадта А. Г. Металловедение и термическая обработка стали: Справочник изд. 3-е перераб. и доп, В 3-х т. Москва : Металлургия, 1983. 352 с.

**Додатки**

СЛУЖБА