

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра прикладного матеріалознавства і технології конструкційних матеріалів

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

Тема роботи: Вибір матеріалу і маршрутної технології виготовлення деталі зачисна фреза

Виконав студент:

Верещак Леонід Сергійович

Залікова книжка №21510001

Підпис _____

Керівник:

д.т.н., проф. Гапонова Оксана

Петрівна

Підпис _____

Співкерівник:

Яковлев Віктор Анатолійович

Підпис _____

Захищено з оцінкою

оцінка, дата

Секретар ЕК

Підпис _____ Марченко К. С.

Суми 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра прикладного матеріалознавства і технології конструкційних
матеріалів
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Гарант Освітньої програми
«Прикладне матеріалознавство»
Харченко Н. А.

«_____» _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студенту Верещак Леонід Сергійович, група МТ-01-1

1. Тема випускної роботи: Вибір матеріалу і маршрутної технології виготовлення деталі зачисна фреза
2. Вихідні дані: креслення деталі та вимоги до неї вказані на кресленні (додаток А)
3. Перелік обов'язкового графічного матеріалу
 - 1) Креслення деталі.
 - 2) Графік термічної обробки деталі.
4. Етапи виконання випускної роботи:

№	Етапи і розділи проектування	Тижні			
		1	2	3	4
1	Розділ 1. Аналіз умов роботи деталі	X			
2	Розділ 2. Огляд літератури	X			
3	Розділ 3. Вибір матеріалу деталі та методів дослідження		X		
4	Розділ 4. Розроблення маршрутної технології виготовлення деталі			X	
5	Розділ 5. Розрахунково-експериментальна частина				X

5. Дата видачі завдання _____ 2024 р.

Керівник

Зав. каф. ПМ і ТКМ, д.т.н., проф. О.П. Гапонова

Співкерівник

асистент каф. ПМ і ТКМ Яковлев В.А.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота рівня «бакалавр» містить: кількість сторінок – 63, кількість таблиць - 7, кількість рисунків – 28, кількість джерел літератури – 26, кількість додатків – 2.

Мета роботи: вибір матеріалу, розробка технологічного процесу виготовлення зачисної фрези та технології її термічної обробки.

Завдання:

- аналіз умов роботи деталі;
- аналіз літературних джерел щодо перспективних методів виготовлення деталі;
- вибір матеріалу деталі;
- розробка технологічного процесу виготовлення деталі;
- вибір обладнання для проведення термічної обробки.

Методи дослідження – спектральний аналіз з метою визначення хімічного складу сталі, металографічні методи дослідження структури поверхневого шару сталей, випробування на твердість.

В ході роботи було проаналізовано умови роботи, обрано інструментальної марку сталі, розроблено маршрутну технологію виготовлення деталі зачисна фрези, запропоновано режими термічної обробки деталі, обрано основне обладнання для термічної обробки.

Ключові слова: ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ІНСТРУМЕНТАЛЬНА СТАЛЬ, СТАЛЬ ХВГ, ЗАЧИСНА ФРЕЗА, СТРУКТУРА, ТВЕРДІСТЬ.

ABSTRACT

Qualifying work for obtaining a bachelor's degree contains: the number of pages – 63, the number of tables – 7, the number of figures – 28, the literature sources – 25, the number of appendices – 2.

The purpose of the work: material selection, development of the technological process of manufacturing a stripping milling cutter and its heat treatment technology.

Task:

- analysis of the working conditions of the part;
- analysis of the literary sources regarding promising methods of manufacturing parts;
- selection of the material of the part;
- development of the manufacturing process of the part;
- selection of equipment for heat treatment

Research methods – spectral analysis to determine the chemical composition of steel, metallographic methods of studying the structure of the surface layer of steels, hardness testing.

During the work, were analyzed the working conditions, was chosen the tool grade of steel, was developed the routing technology for the production of the stripping milling cutter, were proposed the modes of heat treatment of the part, was selected the main equipment for heat treatment.

Key words: HEAT TREATMENT, TOOL STEEL, XBF STEEL, STRIPPING MILLING CUTTER, STRUCTURE, HARDNESS.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ ДЕТАЛІ	10
1.1. Характеристика умов роботи деталі	10
1.2. Можливі причини виходу з ладу деталі.....	12
1.3. Висновок	13
РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	14
2.1. Термічна обробка сталей.....	14
2.2. Хіміко-термічна обробка сталей.....	18
2.3. Перспективні технології нанесення покриттів	23
2.4. Висновок.....	26
РОЗДІЛ 3 ВИБІР МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛІ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ...	27
3.1. Вибір матеріалу інструменту «зачисна фреза».....	27
3.2. Вплив легувальних елементів.....	31
3.3. Методи дослідження	35
3.3.1. Аналіз хімічного складу.....	35
3.3.2. Механічні випробування.....	36
3.3. Металографічні дослідження.....	38
3.4. Висновки	39
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	40
4.1. Розробка маршрутної технології виготовлення зачисної фрези.....	40
4.2. Висновок.....	47
РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	48

5.1. Техніко-економічне обґрунтування технологічного процесу термічної обробки	48
5.2. Дослідницька частина	53
5.3. Вибір основного обладнання для термічної обробки	56
5.4. Техніка безпеки при термічній та хіміко-термічній обробці	57
5.5. Висновок	60
ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	64
Додаток А	67
Додаток Б	68

ВСТУП

У поточних реаліях, враховуючи багатогранність впливу політичних та економічних факторів на виробничі можливості підприємств, особливо гостро встає питання збільшення ресурсу роботи існуючих інструментів та розробка технологій виготовлення нового, максимально можливо стійкого інструменту. Вказані фактори вже підштовхнули виробництво металорізального інструменту на перехід від швидкорізальних сталей до твердосплавних композитів там, де це можливо, проте розробка технологій для інструменту іншого призначення є індивідуальною проблемою кожного окремого виробництва.

На виробництві ТОВ «Суми-Електрод» впроваджено механізм зачищення торців зварювальних електродів – зачисну машину, основним елементом якої виступає інструмент – фреза зачисна. Її застосування зумовлене особливостями процесу виготовлення електродів, а збільшення ресурсу роботи інструменту в такому механізмі є першочерговою задачею, від належності виконання якої залежить якість виготовлення кінцевої продукції.

Сучасні технологічні процеси виготовлення зварювальних електродів методом пресування передбачають наступні етапи: підготовчі операції з дротом, сухими та рідкими компонентами, налагодження оснащення, пресування, зачистка торців електродів під електродотримач з одного та контактних торців з іншого боку, термообробка.

Налагодження та відпрацювання усіх технологічних операцій дозволяє забезпечити відмінну якість продукції, що є неоціненно важливим в сучасних умовах міжнародної конкуренції на ринку виготовлення зварювальних електродів.

Одним з доволі важливих моментів на етапі виготовлення електродів є зачистка контактної торцю. Згідно з нормативно-технічною документацією, форма зачистки покриття на контактному торці повинна бути округлою,

конусною або перехідною між ними; кут зачистки не регламентується, але торець повинен бути не покритим [1].

Відсутність покриття торцю дозволяє збуджувати зварювальну дугу при початку, надмірне ж зачищення призведе до короткого замикання при контакті електрода зі зварюваним металом через недостатню кількість іонів навколо зварювальної дуги, які мали б утворитися при плавленні покриття електрода, недостатнє зачищення призводить до необхідності прикладання ударів для відбиття частини покриття електрода, що, зазвичай, призводить до надмірного зачищення торцю, при цьому відбуваються процеси, що аналогічні для недостатнього зачищення. У будь-якому випадку, неправильне зачищення торців електрода призводить до їх бракування на етапі виробництва.

Отже, враховуючи сказане, існують 4 умови виготовлення високоякісної продукції: якісні матеріали, відпрацьована технологія виробництва, висока кваліфікація персоналу та якісне обладнання. Якщо виконання перших трьох умов покладено на виробниче підприємство, забезпечення технології виготовлення обладнання частіше лежить на інших підприємствах.

Оскільки існують інструменти, які працюють не за типових умов, такі як металообробні свердла, штампи, ножі тощо, необхідна розробка спеціалізованої технології виготовлення подібного оснащення.

Актуальність роботи. Раціональне використання інструменту багато в чому залежить від ступеня його уніфікації. Тому надзвичайно актуальною є проблема визначення оптимального складу інструментального матеріалу, його мікроструктури, що забезпечує необхідні властивості. На етапі технологічного проектування вирішуються такі завдання, пов'язані зі створенням раціональної технології виготовлення деталі, призначення режимів термічного оброблення, вибору обладнання й інструменту, а також методів контролю.

Метою роботи є вибір матеріалу, розробка технологічного процесу виготовлення зачисної фрези та технології її термічної обробки.

Завданням роботи є:

- аналіз умов роботи деталі;
- аналіз літературних джерел щодо перспективних методів виготовлення деталі;
- вибір матеріалу деталі;
- розробка технологічного процесу виготовлення деталі;
- вибір обладнання для проведення термічної обробки.

Практичне значення одержаних результатів. На основі дослідження структуроутворення під час термічної обробки сталі ХВГ запропоновані режими обробки для забезпечення необхідного комплексу фізико-механічних властивостей; запропонований технологічний процес виготовлення деталі з урахуванням потужностей виробництва.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ ДЕТАЛІ

1.1. Характеристика умов роботи деталі

Зачисна фреза – деталь, що є тілом обертання, на зовнішній циліндричній поверхні якої розташовано 134 зубці. Встановлюється за допомогою шпонки на вал, що приводиться в дію електродвигуном. Ескіз деталі наведено на рисунку 1.1.

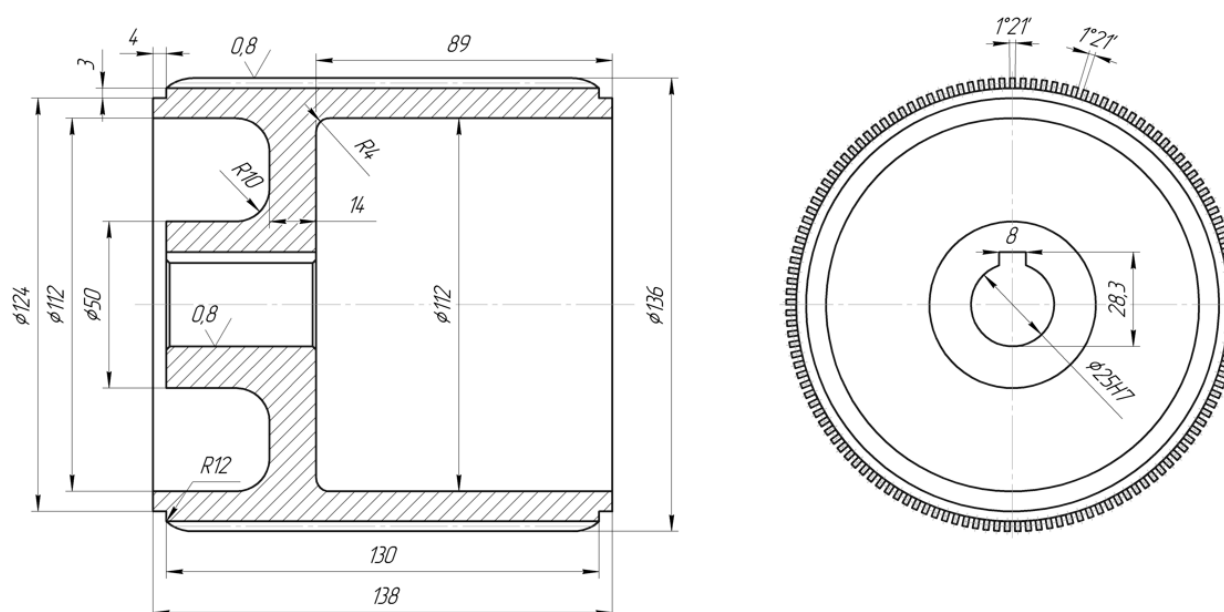


Рисунок 1.1 – Ескіз деталі «зачисна фреза»

Зачисна фреза служить інструментом на зачисній машині для обрізання частини електродного покриття на торці зварювального електрода. Зачисна машина розташована біля стрічкового конвеєра, по якому рухаються опресовані електроди. На стрічковому конвеєрі знаходяться два пристрої для вирівнювання розташування електродів на конвеєрі відносно зачисних машин для коректного зачищення електрода від покриття, при чому кожен з пристроїв знаходиться перед своєю зачисною машиною і регулюється незалежно від іншого. Перша зачисна машина забезпечує очищення від покриття 2-3 см металевго стрижня від краю електрода для забезпечення контакту з

електродотримачем. Друга зачисна машина забезпечує зачищення іншого, контактної торцю від покриття. При цьому можливе не лише очищення стрижня від покриття, а і зрізання металу стрижня через різницю довжини електродних прутків, що ускладнює умови роботи деталі. На рисунку 1.2 наведено ескіз зачисної машини в роботі.

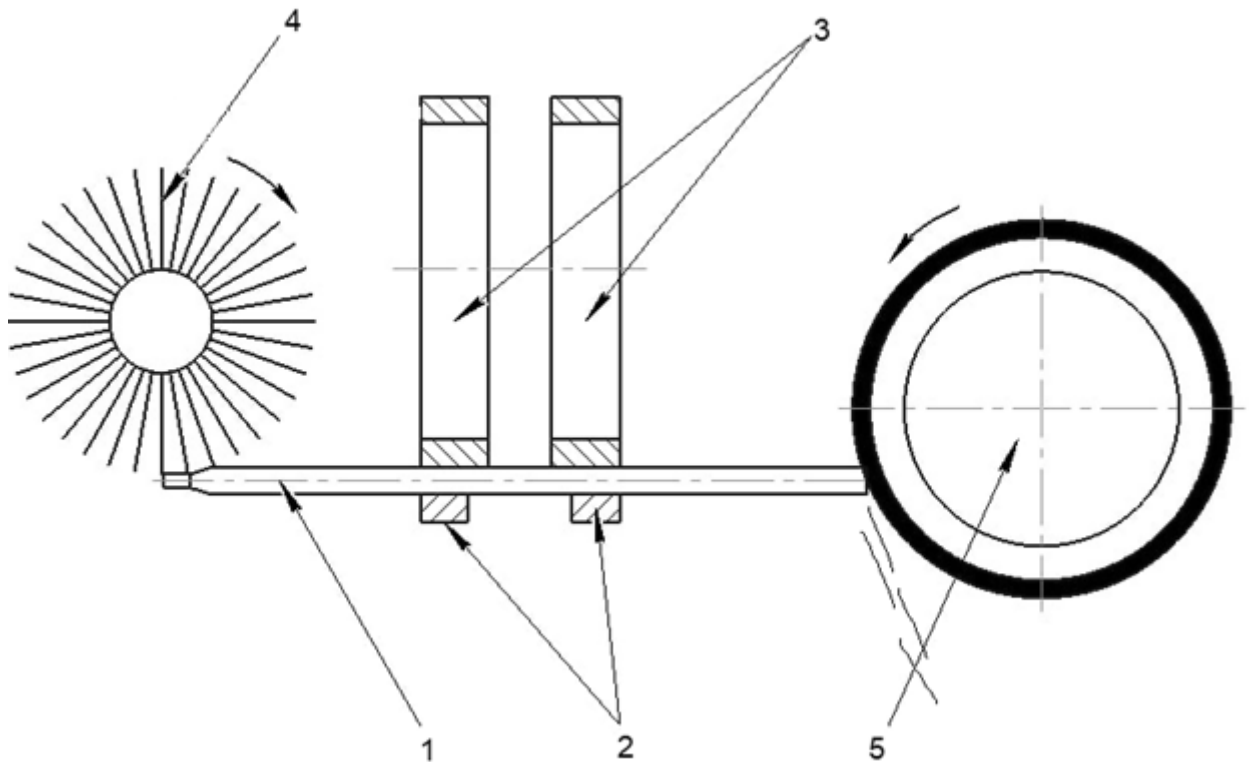


Рисунок 1.2 – Ескіз зачищення торців електрода при його виготовленні: 1 – зварювальний електрод, 2 – стрічки конвеєра, 3 – притискні пристрої, 4 – зачисний диск, 5 – зачисна фреза

Налагодження зачисної установки полягає у підготовці технологічного устаткування та оснащення для виконання роботи: установка фрези на верстат, її фіксація шпонкою, перевірка биття фрези, регулювання притискних агрегатів, перевірка роботи машини. Зміна швидкості обертання інструменту без внесення конструктивних змін в агрегат неможливе.

При роботі фреза виконує обертовий рух навколо своєї осі, інструмент осьових переміщень не виконує, рухаються лише електроди вздовж по

конвеєру, перпендикулярно осі фрези, в ході руху проходячи повз всю ширину інструменту.

1.2. Можливі причини виходу з ладу деталі

Покриття електродів можна вважати абразивом через вміст в його складі силікатів лужних металів та інших мінеральних та металевих компонентів, що часто мають високу твердість. Наприклад, за шкалою Мооса твердість загартованої сталі можна прийняти за 7, а поширених компонентів - металевого хрому та корунду – 8 та 9 відповідно. Основною причиною виходу деталі з ладу є зношення або стирання зубців на поверхні. У протидію силам стирання та абразивного зношення підприємства, на яких виготовлялись зачисні фрези, виконували на їх робочих поверхнях алмазне напилення [2], яке прийнято еталоном твердості для вимірів за шкалами Мооса та Роквелла (А та С).

Таке покриття, очевидно, збільшує зносостійкість та ресурс роботи деталі, але унеможлиблює створення повного циклу виготовлення деталі на окремому підприємстві, вимагаючи підключення до роботи інших підприємств та збільшуючи вартість виробу. Проте, забезпечення безумовної поверхневої твердості та зносостійкості деталі дозволяло виконувати її основу з більш м'яких матеріалів – конструкційних сталей, що здешевлювало б загальну вартість деталі.

Отже, навантаження, які отримує фреза при роботі, є наступними: механічні навантаження – для подолання сил тертя і зрізання, температурні навантаження – виділення тепла від тертя та абразивне зношування.

Відповідно, інструмент повинен мати високу твердість та зносостійкість для запобігання передчасному виходу з ладу через зношення.

1.3. Висновок

В розділі охарактеризовано конструкцію, особливості та призначення зачисної фрези, проаналізовано умови роботи деталі: сухе тертя по абразивному покриттю та металу стрижня електроду, описано навантаження, що отримує деталь при роботі: механічні навантаження від сил тертя і зрізання металу, температурні навантаження, сформульовано вимоги до матеріалу деталі: висока твердість та зносостійкість поверхні.

Також визначені можливі причини виходу інструменту з ладу. Встановлено, що основною причиною виходу деталі з ладу є її зношення, що в основному містить абразивний характер.

Запропоновано виготовляти деталі з в'язких конструкційних сталей з контрольованими механічними властивостями з формуванням на поверхні алмазного покриття для підвищення поверхневої твердості, зносостійкості та підвищення ресурсу роботи.

Таким чином, сформульовано основні вимоги до виробу «зачисна фреза»: висока зносостійкість, поверхнева твердість 60...62 HRC, креслення деталі з вказаними технічними вимогами винесені у додаток А.

РОЗДІЛ 2

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Виходячи з заданих технічних умов до деталі, а також до зазначеної раніше інформації, можна виділити декілька можливих варіантів виконання деталі:

- 1) з інструментальної термообробленої сталі;
- 2) з інструментальної хіміко-термічно обробленої сталі;
- 3) з конструкційної хіміко-термічно обробленої сталі;
- 4) з конструкційної сталі з покриттям з унікальними властивостями.

Вибір матеріалу деталі та способу обробки залежить від:

- конструкції та призначення вузла;
- технологічних можливостей виробництва;
- умов експлуатації деталі;
- вимог до деталі;
- вартості матеріалу та його дефіцитності;
- витрат на виготовлення деталей.

Метод зміцнення, який задовольняв б вимоги до деталей у всіх випадках не існує, оскільки умови експлуатації деталей відрізняються одна від одної. Якщо в одному випадку метод зміцнення призводив до суто позитивних змін в експлуатаційних якостях деталей, то в іншому випадку той самий метод може призвести до погіршення цих якостей. Тому в певних випадках перевагу надають зміцненню деталей, що заснована на декількох методах водночас, кожен з яких дозволяє покращити певну експлуатаційну якість [3].

2.1. Термічна обробка сталей

Оскільки зачисна фреза застосовується в основному не для різання металу, використання високолегованих та швидкорізальних сталей не є доцільним через їх високу вартість, яка мало компенсується збільшенням стійкості інструменту. Крім того, в умовах одиничного виробництва подібних

деталей, застосування сталей подібного роду лише ускладнює технологічний процес та ще більше впливає на вартість деталі.

Інструментальні сталі можна розподілити між собою за кількома критеріями: хімічним складом, структурним класом, призначенням та теплостійкістю.

За хімічним складом можна розділити сталі на: вуглецеві і низьколеговані, та високолеговані. За структурним класом можна виділити: ледебуритні, заевтектоїдні, евтектоїдні та доевтектоїдні сталі. За призначенням виділяють сталі для: вимірювального інструменту, штампів, різального інструменту. За теплостійкістю: нетеплостійкі, напівтеплостійкі та теплостійкі.

Нетеплостійкі сталі отримують високі механічні властивості за рахунок мартенситного перетворення при їх гартуванні, проте, втрачають значну частину твердості при відпуску вище 250 °С, оскільки в таких сталях немає факторів, які б стримували розпад мартенситу та коагуляцію карбідних фаз.

Напівтеплостійкі сталі найчастіше є високовуглецевими та високохромистими, в основному входять до ледебуритного класу. При температурах середнього відпуску в них виділяються карбіди хрому та інші фази, які мають високу стійкість до коагуляції твердих включень в структурі, через що можуть зберігати свою твердість при підвищених температурах.

Теплостійкі сталі, які є в основному високолегованими, отримують твердість не лише за рахунок мартенситного перетворення, а і при дисперсійному твердненні при високому відпуску. В таких сталях такими твердими фазами є карбіди вольфраму, молібдену та інших карбідотвірних або інтерметалідних елементів [4, 5].

Враховуючи режими роботи інструменту, можна зазначити, що деталь не піддається нагріву до високих температур, тому для вибору деталі можна обмежитись лише сталями нетеплостійкого класу. До сталей подібного класу можна віднести марки Х, ХВГ, 9ХС тощо. Температура аустенітного перетворення для таких сталей лежить в межах температур 720-770 °С, на

відміну від напівтеплостійких та теплостійких сталей, для яких ця температура приблизно дорівнює 870 та 830 °С відповідно [6]. Тому термічна обробка таких сталей полягає в неповному гартуванні та низькому відпуску для збереження високої твердості.

Гартування – вид зміцнюючої термічної обробки, що полягає в нагріванні деталі до температур заданих критичних точок, витримку за цих температур та охолодження зі швидкістю, що більше критичної. Відрізняють два види гартування за вибором температур критичних точок – неповне, якщо температура нагрівання лежить вище температур A_1 , але нижче A_3 ; та повне, якщо температура нагрівання знаходиться вище температури A_3 на діаграмі стану. На рисунку 2.1 наведено діаграму стану залізо-вуглецевих сплавів.

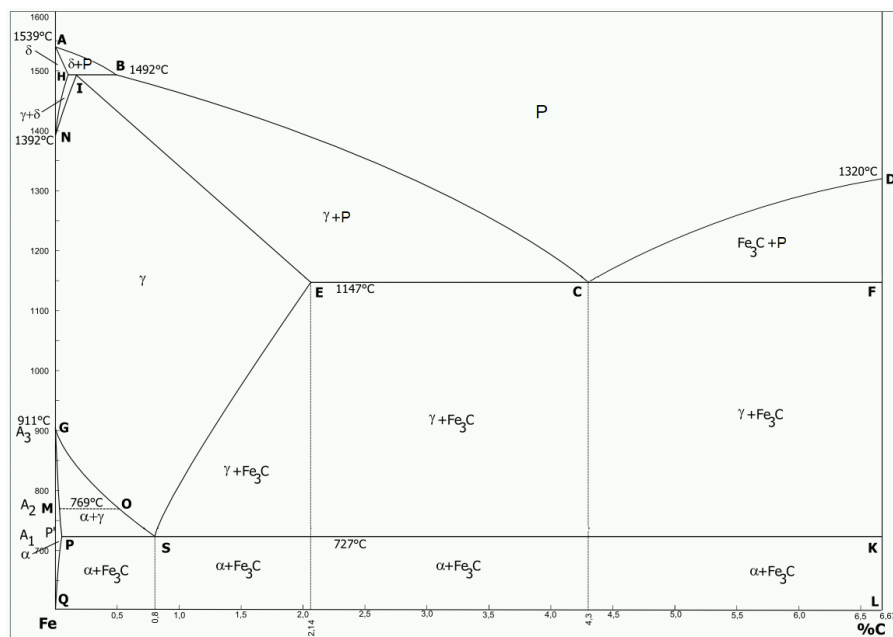


Рисунок 2.1 – Діаграма стану Fe-Fe₃C [7]

Для гартування доевтектоїдних сталей зазвичай застосовують повне гартування, що забезпечує повне перетворення ферито-перлітної суміші на аустеніт при витримці та на мартенсит при охолодженні, забезпечуючи високу твердість. Для заевтектоїдних сталей частіше використовується неповне гартування. Як зазначалось, повного перетворення, в даному випадку, перлітно-цементитної суміші в аустеніт не відбудеться, проте твердість сталі

все одно буде вищою, ніж при повному гартуванні. Це пояснюється тим, що при повному гартуванні в аустеніт перетворюються цементитні включення в структурі, які мають вищу твердість за мартенсит, тому при гартуванні структура стане більш однорідною, але менш твердою.

Також існує поняття залишкового аустеніту – фази, що утворюється при гартуванні високовуглецевих сталей ($C > 0,6\%$), коли не весь утворений з ферито-карбідних сумішей аустеніт перетворюється в мартенсит.

На рисунку 2.2 показані температури кінця та початку мартенситного перетворення для вуглецевих сталей.

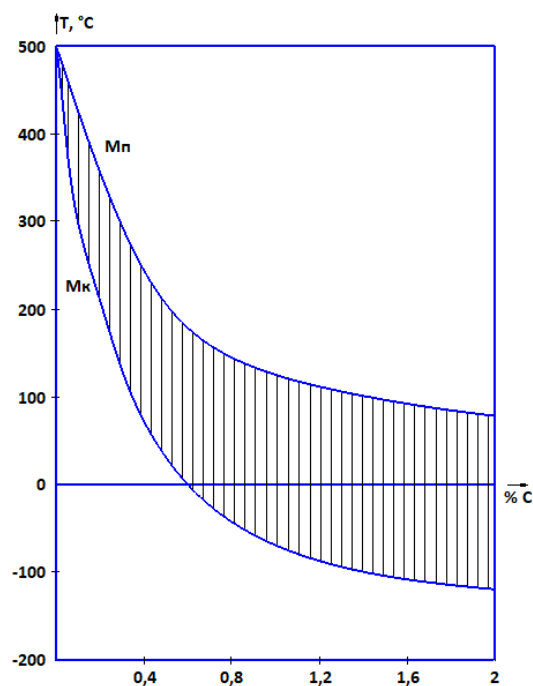


Рисунок 2.2 – Схема взаємного розташування температур початку та кінця мартенситного перетворення вуглецевих сталей [7]

Очевидно, присутність такої фази у структурі призводить до зменшення макротвердості деталі. Від залишкового аустеніту позбавляються обробкою деталі за температур, що відповідають температурі кінця мартенситного перетворення (Mк). Таку обробку називають обробкою холодом [7].

2.2. Хіміко-термічна обробка сталей

Хіміко-термічною обробкою будемо називати поверхнєве насичення деталі відповідним хімічним елементом шляхом дифузії його атомів з навколишнього середовища вглиб деталі за високих температур. Процес хіміко-термічної обробки складається з трьох стадій:

- 1) утворення атомів елемента-дифузанта зі сполук;
- 2) адсорбція атомів поверхнею деталі;
- 3) дифузія атомів в глибину металу.

В залежності від призначення процесу виділяють такі типи хіміко-термічної обробки:

- насичення одним елементом;
- насичення двома та більше елементами;
- видалення елементів.

В залежності від елемента-дифузанта, яким насичують поверхню деталі, виділяють наступні основні процеси [4, 8, 9]:

Цементация – процес насичення сталі вуглецем [4, 9]. Мета – отримання твердої та зносостійкої поверхні, що досягається утворенням на поверхні деталі шару, що насичений вуглецем до рівня близько 0,8%, який після гартування та низького відпуску набуває високої твердості, близько 60 HRC або 770 HV, в той час, як низьковуглецева основа зберігає високу в'язкість. Гартування та відпуск проводять вже після насичення вуглецем, оскільки температури насичення вище за гартувальні на 50...150 °C. В якості карбюризаторів для цементации можуть виступати тверді компоненти, наприклад, деревне вугілля, відповідно визначаючи тип цементации – твердофазну. Проте на сьогоднішній день такий метод можна віднести до неактуальних через свої складності та обмеження. Більш прогресивним є метод газової цементации, коли карбюризатором виступають гази, що містять вуглець, наприклад, метан. За високих температур відбувається його дисоціація на атомарний водень та атомарний вуглець, який активно дифундує в метал [9].

Відповідно, цементацію можна вважати доцільною до застосування для низьковуглецевих сталей в умовах серійного та масового виробництва замість використання вуглецевих інструментальних сталей. Проте цементовані сталі будуть мати схожі властивості, такі як майже відсутню теплостійкість та низьку пластичність поверхні.

Азотування – процес насичення поверхні сталі азотом [8]. Азотування суттєво підвищує твердість поверхні до близько 1000 HV, відповідно, збільшуючи зносостійкість, а також підвищує межу витривалості, корозійну стійкість, стійкість до задирів тощо. Гартування проводять перед хімічною обробкою, оскільки температура азотування значно менше за гартувальну, а новоутворена поверхня зберігає свої властивості і в умовах підвищених температур, тоді як цементована поверхня суттєво втрачає твердість за температур, вищих вже за 250 °С. Зазвичай в якості карбюризатора для азотування використовують аміак. Проте існує і більш прогресивний метод азотування – іонний. Такий процес проводиться у герметичному об'ємі, що містить молекулярний азот та інші необхідні гази. Між деталлю та анодом збуджується тліючий розряд, при цьому дифузія азоту у метал значно спрощується та пришвидшується, навіть за умови зменшення температури процесу, у порівнянні зі звичайним азотуванням на більш ніж на 100°С. Іонне азотування має ряд переваг над звичайним азотуванням, а саме: зменшення тривалості процесу, підвищення економічності процесу, скорочуючи втрати електроенергії та газів-карбюризаторів, зменшена деформація виробів, зменшення температури процесу, розширення номенклатури оброблюваних матеріалів, поліпшення умов праці тощо [8].

Азотування можна вважати перспективним процесом, що відрізняється широким спектром методів та режимів його виконання, матеріали, що піддані азотуванню відрізняються високими експлуатаційними властивостями. Проте можливість його застосування обмежується високою вартістю та складністю необхідного обладнання, сам процес можна вважати високовартісним через його тривалість та інші особливості.

Алітування – процес насичення виробів алюмінієм [10]. Подібна обробка значно підвищує корозійну, ерозійну стійкість та жаростійкість до температур близько 1200°C, що обумовлено утворенням на поверхні деталі стійкої оксидної плівки алюмінію. Алітоване покриття дає корозійну стійкість у атмосфері повітря, а також середовищі морської води та розчинів кислот. Твердість, яку набуває покриття, не дуже велика, близько 700 HV. Найчастіше алітуванню піддають сплави на нікелевій основі, теплостійкі, нержавіючі сталі, нітралої та сталі під цементацію [10].

Алітування є чудовим методом покращення властивостей матеріалів, що працюють за високих температур та в агресивних середовищах. Використання цього методу в деяких випадках дозволить замінити сплави на нікелевій основі на сталі, зменшуючи вартість виготовлення вузла без погіршення його експлуатаційних властивостей, що робить цей метод вкрай перспективним.

Хромування – насичення поверхні деталі хромом. Такій обробці піддають різноманітні сталі, чавуни, нікелеві сплави, інші сплави перехідних металів. В результаті обробки утворюється жаростійка поверхня, що забезпечує захист від газової корозії до температур близько 800°C. Також обробка підвищує твердість, зносостійкість поверхні. Твердість поверхні сягає 1200-1300 HV [11, 12].

Хромуванню можуть піддавати сталі різних класів, такі як високоміцні сталі, нітралої, нержавіючі сталі, сталі для штампів холодного штампування, ресорно-пружинні сталі тощо. В процесі хромування низьковуглецевих сталей на поверхні утворюється шар, високолегований хромом у вигляді твердого розчину, а у вуглецевих та легованих сталей в ході хромування утворюється шар, що містить карбіди хрому [11]. Основна мета хромування – захист виробів від дії агресивних середовищ: кислот, перекису водню, морської води; від інших несприятливих факторів: електрохімічної корозії, ерозії, термічних впливів тощо.

Борування – насичення поверхні металу бором, що призводить до значного підвищення твердості до 1600 HV, зносостійкості у багатьох умовах

роботи та корозійної стійкості в розчинах ряду розплавів, кислот та лугів. Крім того підвищується жаростійкість до температур 850 °С. Може відбуватись у твердих, рідких та газоподібних середовищах, при цьому частіше карбюраторами є порошок бору, розплав бури та борани відповідно [12].

Автори роботи [13] вважають, що борований шар має підвищену крихкість, тому борування не застосовують для деталей, що працюють в умовах ударних навантажень та великого контактного тиску для уникнення викришування поверхні або деформування деталі за рахунок продавлення більш м'якої основи. Проте існують сплави, леговані бором на 0,5...1,5%, як, наприклад, наплавлені вироби електродами типу Э-320Х23С2ГТР за ГОСТ 10051-75, що задумані виробниками як такі, що призначені для роботи в умовах абразивного зношення за ударних навантажень.

Боруванню найчастіше піддають низьковуглецеві та низьколеговані сталі. Це пояснюється тим, що дифузійний процес борування ускладнюється за присутності легувальних елементів та вуглецю в сталі через особливості атомарної та кристалічної будови матеріалів [9]. Проте присутність в сталі карбідотвірних легувальних елементів значно підвищує мікро- та макротвердість поверхні борованого шару через наявність в ньому боридів інших елементів, крім заліза.

При боруванні можливе утворення двох боридних фаз – FeB та Fe₂B. Перша відрізняється більшою твердістю та крихкістю, тому на практиці частіше намагаються отримати саме другу фазу. Наявність в сталі підвищених значень вмісту кремнію несприятливо впливає на процес борування. В поверхневих шарах розчинність кремнію значно зменшується, що призводить до його переміщення вглиб металу, що в свою чергу призводить до утворення феритної зони під боридною, що значно зменшує мікротвердість виробу і може призвести до зазначеної деформації виробу продавлюванням. Враховуючи ці фактори, для борування не рекомендують призначати сталі, що містять кремній в кількостях, більших за 0,7% [9].

Силіціювання – насичення поверхні металу кремнієм. Така обробка призводить до збільшення корозійної стійкості, жаростійкості, твердості та особливо зносостійкості. Наявність пористості шару значно погіршує якість покриття. Хром, алюміній та титан значно підвищують жаростійкість, потрапляючи в силіційований шар, тому дослідження силіціювання легованих сталей представляє великий інтерес для виробництв [9].

Нітроцементация – вид комбінованої хіміко-термічної обробки, що полягає в одночасному насиченні деталі вуглецем та азотом, що зазвичай відбувається у газовому середовищі. Існує також метод ціанування, коли деталь занурюється у розплав натрій-калієвих солей синильної кислоти, проте цей метод можна вважати застарілим, оскільки він є більш трудомістким та шкідливим для персоналу та довкілля. Основне призначення нітроцементации – підвищення твердості та зносостійкості виробів. У порівнянні з простою цементацией та азотуванням, процес відбувається за менших температур та за менших витрат часу внаслідок прискорення дифузії вуглецю. Карбюризатором для нітроцементации є суміш аміаку та газів, що містять вуглець. Температура насичення – 700...860°C. За умов високотемпературного насичення шар нітридів не утворюється. Зазвичай, твердість, яку набуває деталь після нітроцементации, гартування та низького відпуску, складає 59-63 HRC [6, 9].

Загалом можна зазначити, що в практиці машинобудування методи хіміко-термічної обробки сталей існують доволі давно; сутність її процесу дозволяє отримувати принципово нові властивості у матеріалів, які не можуть набути таких властивостей за інших видів обробки, що призвело до широкого розповсюдження методів ХТО, їх глибокого дослідження та відпрацювання технологій. Проте така обробка має свої недоліки, як, наприклад, недоступність використання для підприємств з обмеженими виробничими можливостями, вартістю устаткування, самого процесу через його тривалість. Також процеси ХТО відрізняються низькою екологічністю, а сучасні реалії підштовхують виробництва до зменшення негативного впливу на довкілля, що

призвело до виникнення та розвитку більш сучасних і ефективніших методів модифікації поверхні, які будуть зазначені нижче.

2.3. Перспективні технології нанесення покриттів

Як було зазначено раніше, для зачисних фрез часто застосовувалось алмазне напилення, хоча на сьогоднішній день існують і інші способи суттєвого зміцнення поверхні деталі. Крім зазначених вище властивостей термічно оброблених сталей та властивостей покриттів, отриманих при термічній обробці, проводити зміцнення поверхні деталей можливо іншими способами, наприклад: наплавлення, плазмове нанесення покриттів, іонне легування тощо.

Наплавлення поверхні може відбуватись різними способами: ручне електродугове, автоматичне дугове під флюсом, наплавлення в середовищі CO₂, плазмове наплавлення тощо. Автоматичне наплавлення найчастіше використовують для виконання великої кількості типових робіт, тоді як ручне дугове наплавлення – для виконання індивідуальних робіт.

Спільною рисою всіх методів є утворення в результаті роботи поверхні з заданим хімічним складом, а отже і фізико-механічними властивостями. Сутність процесу полягає в тому, що присадний метал розплавляється джерелом нагрівання і переноситься на поверхню деталі. Допоки розплавлений присадний метал знаходиться в рідкому стані, він утворює з металом основи монолітне з'єднання, при цьому метал розплавлена частина основного металу і метал присадки утворюють шар, що називають наплавленим металом. При використанні ручного електродугового наплавлення джерелом металу присадки виступає електрод, а джерелом тепла – електрична дуга, що виникає між деталлю, що частіше є анодом, та електродом, що частіше виступає катодом. Такий вид підключення називають зворотною полярністю.

Для наплавлення виділяють окрему групу електродів, які виготовляються за окремим стандартом – ГОСТ 10051-75. Серед вказаних в

стандарті марок можна відрізнити окремі групи за їх призначенням, наприклад: електроди типу Э-30Г2ХМ використовуються найчастіше для наплавлення зношених ділянок рейок, валів, хрестовин тощо; електроди типу Э-90Х4М4ВФ для наплавлення штампів гарячої штамповки, типу Э-70Х3СМТ для наплавлення штампів холодної штамповки та верстатного обладнання тощо.

Для наплавлення суто різальних інструментів можуть застосовуватись електроди типів Э-80В18Х4Ф, Э-10К18В11М10Х3СФ. Як видно з їх класифікації, основне їх призначення – наплавлення швидкорізальних вольфрамових та кобальтових сталей [9, 14].

Виготовлення деталей шляхом наплавлення поверхневих шарів із заданими властивостями на основу конструкційних або низьколегованих сталей представляє великий інтерес для виробництв. Крім того, використання методів наплавлення можна використовувати для поточних та навіть капітальних ремонтів деталей та інструментів, дозволяючи відновлювати початкові властивості виробу повною мірою при використанні коректної технології. Загалом, цю технологію можна вважати дуже перспективною та такою, що потребує глибоких та ґрунтовних досліджень.

Алмазне покриття на поверхні деталі дозволяє суттєво збільшити твердість, зносостійкість та теплостійкість поверхні, оскільки твердість алмазу є найбільшою з усіх інших матеріалів, що можуть застосовуватись в машинобудуванні. Також при терті по поверхні алмазу відмічається низький коефіцієнт тертя, що виникає завдяки утворенню на поверхні алмазу газових плівок, які працюють, як шар змазки. Такі умови створюють позитивний вплив на зносостійкість покриття, що суттєво збільшує ресурс роботи деталі [15].

Алмазне покриття може наноситись на три види основ: органічну, металічну та гальванічну. Органічна основа відрізняється низькою теплопровідністю, високим супротивом до термічних навантажень. Металічна основа має більшу твердість від органічної. Гальванічна основа, яка частіше є

покриттям з нікелю, забезпечує високу адгезію, продуктивність, але швидко піддається зносу [16].

Плазмове нанесення покриттів ґрунтується на нагріві матеріалу покриття до стану плавлення і розпилення його струменем газу. Він дозволяє наносити на метали тугоплавкі матеріали, не нагріваючи основу до температур, які сприяли б її знеміцненню [9].

Процес складається з двох етапів: політ і розпилення частинок та їх удар об поверхню, з'єднання з нею та між собою. Утворення покриття відбувається при зіткненні частинок, що розпилюються, з поверхнею деталі, їх деформація та розбризкування. В результаті утворюється покриття, що складається з напилених шарів, сполучених між собою контактними ділянками, що викликає зменшення міцності та щільності покриття відносно початкового матеріалу. Для підвищення ж властивостей напиленого шару використовують оплавлення, при якому відбувається дифузійне з'єднання напиленого шару і основи за підвищених температур. Таким методом можливе напилення як пластичних металів та сплавів на їх основі, так і твердих металів і хімічних з'єднань [9].

Іонно-плазмове зміцнення – процес, що пов'язаний з перетворенням електричної енергії в енергію впливу на матеріал, що призводить до структурних перетворень в осадженому покритті на поверхні деталі. Подібні методи дозволяють отримувати високу адгезію покриття, забезпечуючи рівномірність товщини та складу покриття, також забезпечувати шорсткість поверхні, яка дозволить не проводити додаткової обробки для досягнення заданої шорсткості. Крім того, методи відрізняються в позитивну сторону від методів хіміко-термічної обробки своєю екологічністю та зведеним до мінімуму впливу на виробничий персонал. До групи цих методів належать наступні технології: зміна поверхневих шарів шляхом насичення, травлення або імплантації; нанесення покриттів шляхом полімеризації, осадження, випаровування або розпилення [9].

Етапи проведення процесу іонно-плазмового зміцнення схожі на етапи хіміко-термічної обробки, а саме включають: генерацію потоку речовини, активізацію потоку та конденсацію з подальшою дифузією речовини в деталь.

Методи іонно-плазмового зміцнення відрізняються один від іншого способами виконання вказаних етапів.

Іонне легування – процес бомбардування поверхні деталі потоком іонів певного елемента. При цьому цей елемент може заходити в кристалічну решітку основи як у вигляді твердого тіла, так і утворюючи виділення хімічних сполук у вигляді кристалів з компонентами матеріалу основи. При впровадженні іонів в решітку відбувається переміщення атомів, через що утворюється значна кількість її дефектів, що призводить до додаткового значного зміцнення, що істотно знижує тертя, підвищує міцність та твердість, а отже і запобігає зношуванню, а крім того, може підвищити і корозійну стійкість металу [9].

2.4. Висновок

В ході проведення огляду літературних джерел було проведено ґрунтовний аналіз існуючих джерел літератури щодо методів модифікації поверхні деталі з метою визначення необхідності впровадження технологій до процесу виготовлення самої деталі з урахуванням потужностей та виробничих можливостей виробництва.

Визначені можливі варіанти зміцнення деталі. Розглянуто основні методи термічної та хіміко-термічної обробки, визначено, що ефективність та доцільність застосування окремих покриттів залежить від багатьох факторів, насамперед вимог, що покладаються до деталі, технологічних можливостей виробництва, конструкції та інших особливостей конкретної деталі.

Для виконання деталей, що працюють в умовах, які подібні деталі, зазначеній у роботі, найкраще підходять методи азотування, хромування та борування, а також іонно-плазмові методи зміцнення, за можливості технічного забезпечення виконання всіх технологічних операцій процесу.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛІ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Вибір матеріалу інструменту «зачисна фреза»

Варто зауважити, що характер експлуатації деталі чітко визначає річну потребу в кількості виготовлених деталей, обсяг виробництва якої є невеликим – близько 10 одиниць на рік. Це пояснюється тим, що деталь має вкрай вузьке призначення та може нормально використовуватись лише для однієї задачі – зачистки торців електродів. До цього додається невелика кількість підприємств-виробників електродів, кожне з яких може працювати на своєму унікальному обладнанні, а отже уніфікувати таку деталь вкрай важко, якщо взагалі доцільно. Враховуючи ці фактори, саме виробництво такої деталі будемо вважати одиничним, отже і виробничі можливості будуть обмежені.

До інструменту висуваються наступні вимоги:

- висока твердість поверхні;
- висока зносостійкість;
- здатність добре оброблятися шліфуванням.

На виконання цих умов впливає вибір матеріалу деталі, призначена механічна та термічна обробка. Досягти забезпечення виконання основи цих вимог можна вибором наступних матеріалів:

- термічно обробленої інструментальної сталі;
- хіміко-термічно обробленої конструкційної сталі
- наплавлених поверхонь конструкційних та інструментальних сталей.

В таблиці 3.1 представлено хімічний склад представників запропонованих матеріалів для виготовлення деталі.

Таблиця 3.1

Хімічний склад представників матеріалів для виготовлення
деталі, % [6, 14, 17]

	C	Si	Mn	S; P*	Cr	Mo	Ni; Cu*	Інші елемент и
20Х (під цементацию)	0,17- 0,23	0,17- 0,37	0,5- 0,8	0,035; 0,035	0,7- 1	-	0,3; 0,3	-
38Х2МЮА (під нітроцементацию)	0,35- 0,42	0,2- 0,45	0,3- 0,6	0,025; 0,025	1,35 - 1,65	0,15- 0,25	0,3; 0,3	Al – 0,7- 1,1
ХВГ	0,9- 1,05	0,1- 0,4	0,8- 1,1	0,03; 0,03	0,9- 1,2	-	0,4; 0,3	W – 1,2- 1,6
Э-70Х3СМТ (наплавлення)	0,5- 0,9	0,8- 1,2	0,4- 1	0,03; 0,035	2,3- 3,2	0,3- 0,7	-	Ti – <0,3

* одиничні значення приймати за максимально допустимі

Цементация та нітроцементация – види хіміко-термічної обробки, що є тривалими та ресурсномісткими процесами, які до того ж потребують додаткового оснащення. Наплавлення ж можна використовувати на різні основи, як конструкційні, так і на інструментальні сталі. Крім того, як було зазначено в розділі 2, наплавлення можна використовувати не лише як метод зміцнення поверхні, а як і метод відновлення зношених при роботі поверхонь.

Оскільки технології виготовлення деталей шляхом наплавлення не є цілком дослідженими та потребують додаткових ґрунтовних досліджень, у виборі матеріалу для виготовлення деталі найоптимальнішим будемо вважати використання інструментальної сталі з застосуванням термічної обробки.

Інструментальні сталі за хімічним складом поділяють на вуглецеві та леговані. До першої групи відносять сталі марок У7, У10А, У13 тощо. До другої групи відносяться сталі марок Х, 5ХНМ, Р10К5Ф5 тощо.

Як було зазначено раніше, виготовлення деталі зі швидкорізальної сталі підвищить експлуатаційні характеристики деталі, проте застосування такого матеріалу є геть не доцільним через високу вартість матеріалу, ускладнення технології виготовлення та надання деталі завищених властивостей. Використання вуглецевих інструментальних сталей є можливим, проте їх експлуатаційні характеристики нижчі в порівнянні з легованими сталями, через присутність в останніх карбідних включень різних елементів. Отже оптимальним матеріалом будемо вважати інструментальні леговані сталі.

Інструментальні леговані сталі виготовляються за стандартом ГОСТ 5950-00. Відповідно до цього стандарту відрізняють дві групи сталей, перша, яка представлена сталями Х, ХГС, 4ХС, Х12, 8Х6НФТ, використовується для роботи за звичайних, непідвищених температурах; та друга група, що представлена сталями 3Х3М3Ф, 7Х3, 5ХНМ, використовується для роботи за температур вище 300°C. Використання сталей другої групи не є доцільним, оскільки такі сталі зазвичай містять невелику кількість вуглецю, через що отримати високу твердість деталей в такому випадку без додаткових видів обробки неможливо.

Також стандартом запропоновано область застосування для різних сталей. Для різального інструменту виділяють 5 марок сталей: 11ХФ, 9Г2Ф, ХВСГФ, ХВГ та Х6ВФ, проте сталі марок 11ХФ та Х6ВФ використовуються для різального інструменту малого діаметру та деревообробного інструменту відповідно [6]. В таблиці 3.2 представлено хімічний склад та основні механічні властивості запропонованих для виготовлення різального інструменту сталей.

Таблиця 3.2

Хімічний склад та основні механічні властивості сталей, % [6]

	C	Si	Mn	S, P, Cu, не більше	Cr	W	V	Ni, не більше	Твердість в стані Г+НВ, HRC, не менше
9Г2Ф	0,85- 0,95	0,1- 0,4	1,7- 2,2	0,03	-	-	0,1- 0,3	0,4	59
ХВГ	0,9- 1,05	0,1- 0,4	0,8- 1,1	0,03	0,9- 1,2	1,2- 1,6	-	0,4	60
ХВСГФ	0,95- 1,05	0,65- 1	0,6- 0,9	0,03	0,6- 1,1	0,5- 0,8	0,05- 0,15	0,4	62

Виходячи з вказаних характеристик та доступності сталевого прокату сталей цих марок на ринку, для виготовлення деталі «зачисна фреза» обираємо сталь марки ХВГ. Зазвичай сталь ХВГ використовується для виготовлення вимірювальних, різальних інструментів, для яких підвищена деформація при гартуванні недопустима: калібри, протяжки, мітчики, плашки тощо; оснащення для холодного штампування, технологічного оснащення тощо [5] [6]. На рисунку 3.1 зображено зменшення твердості загартованої сталі марки ХВГ залежно від температури відпуску.

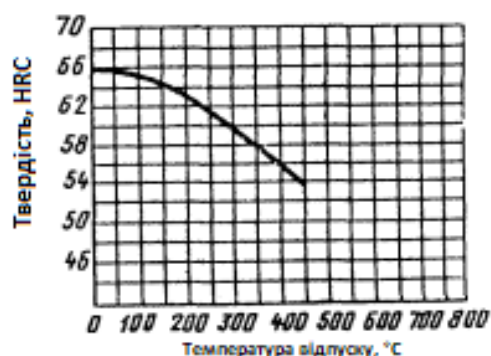


Рисунок 3.1 – Графік зменшення твердості загартованої сталі ХВГ залежно від температури відпуску [6]

3.2. Вплив легувальних елементів

Сталь вважають легованою тоді, коли в її хімічний склад спеціально вводять інші елементи, крім вуглецю, а кількість марганцю та кремнію перевищують значення 0,4...0,8%. Крім того, до складу будь-якої сталі будуть входити шкідливі домішки у вигляді сірки та фосфору, приховані домішки газів: водню, кисню, азоту тощо; та інші елементи в мізерних кількостях, що викликано забрудненістю руд, з яких сталь виплавлялась початково та відповідну кількість в металобрухті, з якого сталь переплавлялась.

Вуглець: зі збільшенням масової кількості вуглецю в сталі зростає кількість твердої фази цементиту та відповідно зменшення кількості м'якого та пластичного фериту, що витікає в збільшення твердості сталі, зниження пластичності та ударної в'язкості. Зростання міцності відбувається зі збільшенням кількості вуглецю до близько 0,9%, після чого відбувається її зменшення. Це пояснюють тим, що в доевтектоїдних сталях утворений цементит чинить опір переміщенню дислокацій, збільшуючи опір деформації, а зменшення ж міцності в заевтектоїдних сталях пояснюється ростом по межах зерна сітки вторинного цементиту, що погіршує з'єднання зерен між собою, що призводить до передчасного руйнування сталі. Розширює область існування аустеніту. Також вуглець зменшує електро- та магнітну провідність, збільшуючи коерцитивну силу [7].

На рисунку 3.2 наведено відомості щодо впливу вуглецю на механічні властивості вуглецевих сталей.

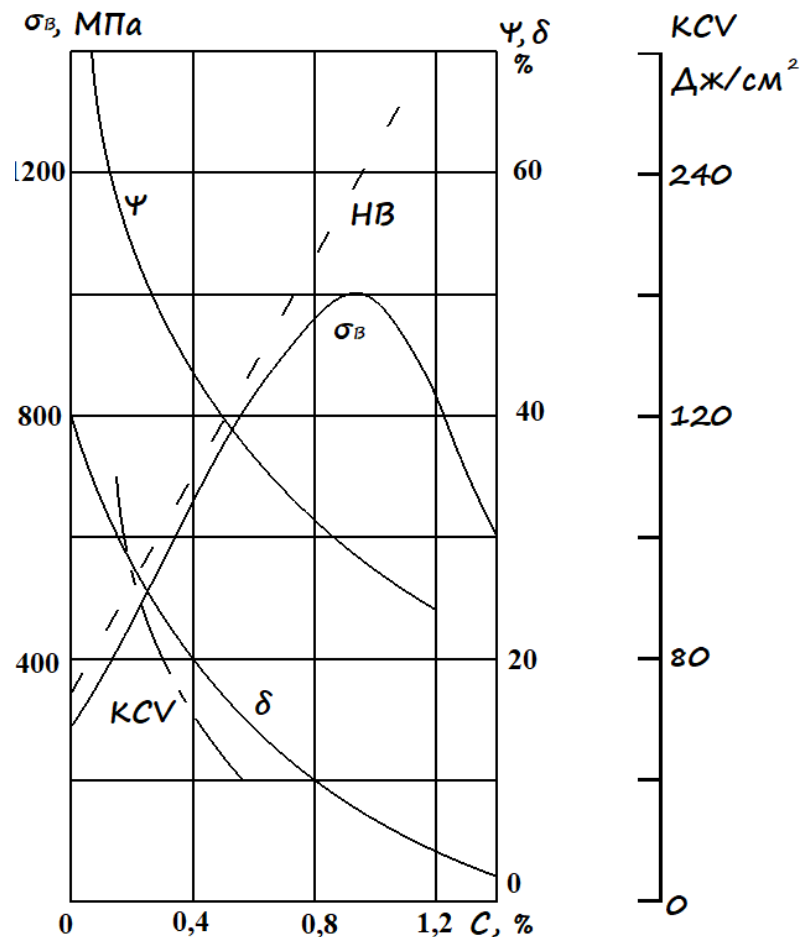
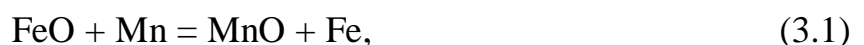


Рисунок 3.2 – Залежність механічних властивостей вуглецевих сталей від вмісту вуглецю [7]

Кремній: потрапляє в сталь з руди, а також при її виплавці для розкислення. Розчиняючись у фериті сильно збільшує границю текучості, збільшуючи пружність, проте зменшує пластичну оброблюваність у холодному стані. Є елементом графітизатором, тобто не утворює карбідів в сталях, також розширює область існування фериту [7].

Марганець: вводиться в сталь при її виплавці для розкислення та виведення сірки з сульфїду заліза за реакціями [7]:



Температура плавлення оксиду та сульфїду марганцю вища за такі ж сполуки заліза, тому при виплавці вони переходять в шлак або залишаються в сталі не погіршуючи її властивості. Якщо знаходиться в сталі у великих

кількостях, то помітно збільшує зносостійкість, майже не збільшуючи твердості. Також марганець розширює область існування аустеніту [7].

Сірка: потрапляє в сталь з руди, пічних газів та палива. Вважається шкідливою домішкою, тому в будь-якій марці сталі її вміст буде обмежений. Не розчиняється в залізі, утворюючи хімічну сполуку – сульфід заліза, що з феритом утворює евтектику з температурою плавлення 988°C . Допоки знаходиться в сталі, підвищує схильність сталі до червоноламкості – утворення тріщин при деформації сталі за температур вище 1200°C . Сполуки сірки зменшують механічні властивості сталі: ударну в'язкість, пластичність, границю витривалості, погіршують зварюваність та корозійну стійкість [7].

На рисунку 3.3 показано включення сульфідного заліза на мікрошліфі сталі [18].

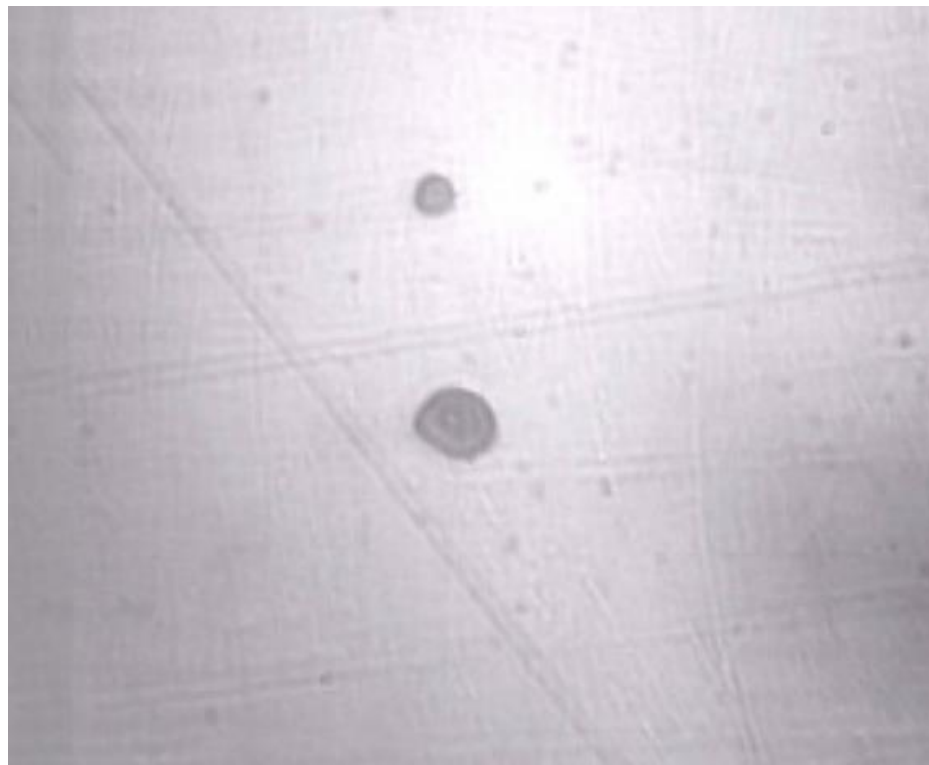


Рисунок 3.3 – Включення сульфідної евтектики в сталі типу X13 x900

Фосфор: потрапляє в сталь з руди, палива та флюсів. Вважається шкідливою домішкою для сталей, тому також обмежується в будь-якій марці. Розчиняючись у фериті збільшує границю міцності та текучості, проте сильно

зменшує пластичність та ударну в'язкість, підвищуючи поріг холодноламкості.

Приховані домішки: азот, кисень і водень потрапляють в сталь при виплавці з повітря та пічних газів, утворюють як хімічні сполуки, так і знаходяться в газоподібному стані, заповнюючи порожнини в структурі. Водень особливо шкідливий для сталей, оскільки не утворює хімічних сполук із залізом, а розчиняється в ньому лише за високих температур, а при зменшенні температури виділяється зі структури, утворюючи газові пустоти – флокени. Позбавляються водню при низькому відпуску за довготривалої витримки, коли швидкість дифузії водню збільшена, а розчинність сильно не зростає. Неметалічні сполуки зазвичай погіршують границю витривалості та ударну в'язкість. Позбуваються газів при виплавці сталі зазвичай використовуючи вакуумний переплав або переплав в атмосфері захисних газів. На рисунку 3.4. показано дефект «флокени» в макроструктурі злому сталі.

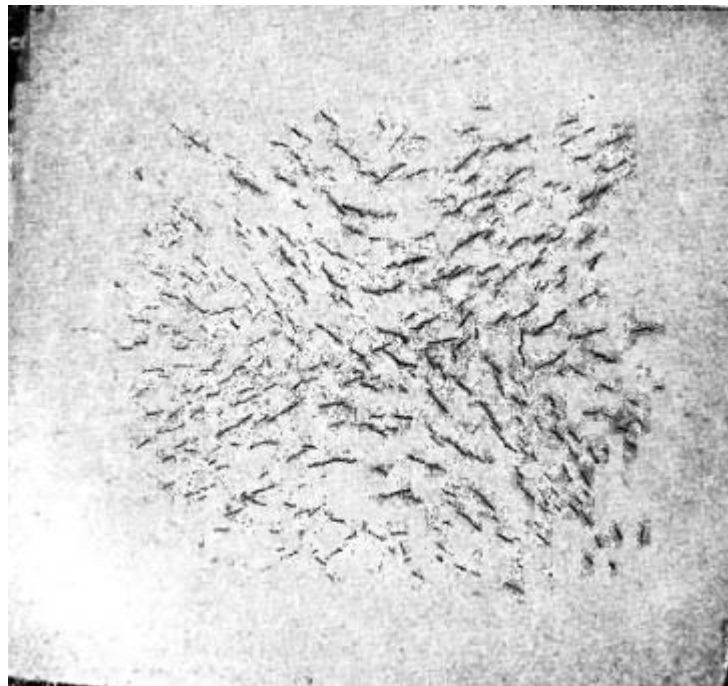


Рисунок 3.4 – Флокени в макроструктурі сталі марки ШХ15 [19]

Хром: сприяє підвищенню твердості сталі через утворення карбідів типу Cr_{23}C_6 і Cr_7C_3 , розчиняється у фериті. Зменшує схильність зерна до росту при нагріванні, збільшує стійкість переохолодженого аустеніту, тобто збільшує

прогартуваність. Підвищує стійкість до корозії, при масовому вмісті 1/8 в сталі робить її стійкою проти атмосферної корозії, також збільшує зносостійкість та жаростійкість. Розширює область існування фериту [7].

Вольфрам: збільшує стійкість переохолодженого аустеніту, збільшуючи прогартуваність. Утворює карбіди типу W_2C , стримує ріст зерна при нагріванні. Збільшує твердість, жароміцність та жаростійкість.

3.3. Методи дослідження

3.3.1. Аналіз хімічного складу

Одразу після отримання підприємством будь-якого матеріалу, відділ технічного контролю повинен провести процедуру вхідного контролю, перевіряючи кожен заданий параметр отриманого матеріалу на відповідність сертифікатам, стандартам та внутрішнім нормативно-технічним документам. В першу чергу перевіряють хімічний склад отриманої сталі.

Для визначення хімічного складу сталей застосовують спектральний аналіз. Процес заснований на розкладанні та дослідженні спектра електричної дуги, що створюється між досліджуваним металом та електродом. Промінь світла від дуги переломлюється через призми та розкладається на спектр, який спостерігається через окуляр. Характер та інтенсивність ліній дозволяє визначити вміст хімічних елементів. Існує два основних методи аналізу: оптико-емісійний та рентген-спектральний аналіз.

Оптико-емісійний аналіз заснований на принципі емісійного випромінення світла атомами при їх перезбудженні, при цьому атом кожного елемента має свій унікальний спектр. Для точності проведення аналізу камера аналізатора повинна знаходитись в атмосфері інертного газу, частіше аргону, або знаходитись в вакуумі, оскільки наявність повітря суттєво погіршить точність аналізу. Сучасні апарати дозволяють проводити аналіз вмісту в сталі елементів від берилію до вісмуту з великою точністю, а також аналізувати як залізо-вуглецеві, так і будь-які кольорові сплави. Правильність вимірювання

залежить від вибраної програми в програмній частині апарату, а калібрування відбувається за допомогою повірених еталонів.

Рентген-спектральний аналіз заснований на вивченні спектру рентгенівських променів, що пройшли крізь зразок або були випущені перезбудженими атомами. Принципово відрізняється від оптико-емісійного аналізу тим, що при рентген-спектральному аналізі зразок не отримує залишкового впливу, тобто не руйнується. Також такий метод є швидким, визначення хімічного складу може зайняти від декількох секунд до хвилин. Проте певні види апаратів для такого аналізу обмежені в кількості досліджуваних елементів, зазвичай аналіз можливий для елементів, атомний номер який більше, ніж у фтору.

3.3.2. Механічні випробування

Твердість – характеристика матеріалу, що описує його супротив проникненню в нього іншого, більш твердого тіла – індентора. Твердість контролюють в процесі виробництва деталі, в основному після операцій термічної обробки, визначають її за допомогою твердомірів.

Майже всі методи визначення твердості полягають у вдавлюванні індентора в пласку поверхню досліджуваного матеріалу. Форма та матеріал індентора відрізняються в різних методах вимірювання. В промисловості широко розповсюджені два методи: за Брінеллем та за Віккерсом; методи вимірювання яких стандартизовані окремими документами. Індентором для методу Брінелля виступає кулька, що виготовлена з твердого сплаву або загартованої сталі з заданими розмірами [20], для методу Віккерса для загартованих сталей – алмазний або твердосплавний конус з кутом при вершині 120° [21].

На рисунку 3.5 показана схема проведення випробувань за методом Брінелля. Отриманий відбиток після зняття навантаження досліджують за допомогою лупи, за отриманим діаметром відбитку дізнаються твердість за емпіричними таблицями.

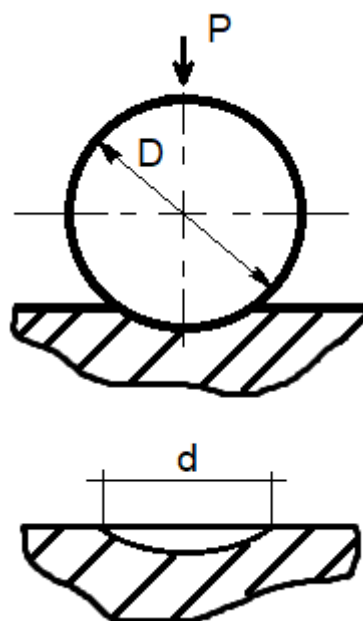


Рисунок 3.5 – Схема проведення випробувань на твердість за методом Брінелля

Методика визначення твердості кожним методом обмежує сферу його застосування. Метод Брінелля дозволяє вимірювати твердість, наприклад, незагартованих сталей, тоді як твердість загартованих сталей вимірюється методом Роквелла за шкалою С.

На рисунку 3.6 показана схема методу вимірювання твердості за методом Роквелла. Спочатку індентор занурюють у досліджуваний матеріал з початковим зусиллям P_1 , потім прикладають повне зусилля P_2 , після появи супротиву навантаженню з боку матеріалу повне зусилля P_2 прибирають, залишаючи лише початкове P_1 , потім знімають результат.

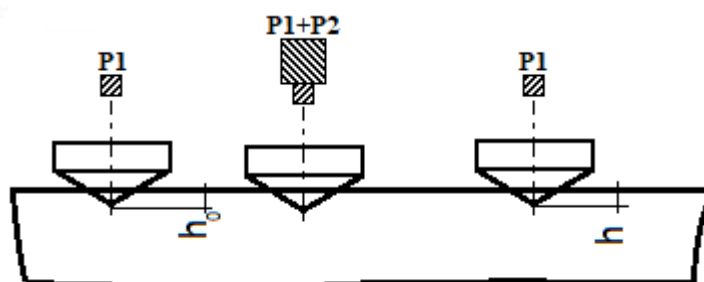


Рисунок 3.6 – Схема методу вимірювання твердості за методом Роквелла

На рисунку 3.7 показана шкала твердоміру типу ТК. мала стрілка показує, наскільки глибше потрібно занурити індентор в досліджуваний матеріал, коли вона встає навпроти червоної точки, потрібно прикласти повне навантаження. Велика стрілка показує твердість матеріалу після зняття повного навантаження.



Рисунок 3.7 – Шкала твердоміру типу ТК

3.3. Металографічні дослідження

Металографічні дослідження дозволяють встановлювати та вивчати закономірності утворення структур металу залежно від термічної, хіміко-термічної, механічної тощо обробки, а також вплив структури на властивості матеріалів. Включає в себе макро- та мікроаналіз.

Макроаналіз проводять для дослідження поверхневих дефектів деталей, таких як пори, тріщини, усадкові раковини, неоднорідності тощо. Досліджуваним зразком може бути як підготовлений макрошліф, так і зразок злому металу. Досліджують зразки за допомогою лупи, збільшення зазвичай не більше $\times 30$.

Мікроаналіз дозволяє вивчати розміри, форму зерна металу, встановлювати, які зміни відбуваються в структурі під впливом процесів термічного, механічного та інших впливів. Для проведення мікроаналізу необхідно підготувати зразки – мікрошліфи. Зазвичай виготовлення зразків відбувається так: вирізають частину досліджуваного металу, за потреби торцюють, далі шліфують, зменшуючи зернистість з кожним проходом, далі

мікрошліф полірують, а після отримання дзеркальної поверхні протравлюють певними хімічними реагентами, в залежності від того, що є метою аналізу. Обладнання для проведення мікроаналізів – оптичні або електронні металографічні мікроскопи, що дозволяють отримувати збільшення не менше x50.

3.4. Висновки

В даному розділі було описано особливості виробничих можливостей виготовлення деталі, що викликані серійністю виробництва, визначено основні властивості сталей, що можуть застосовуватись для виготовлення інструменту, наведено хімічний склад та основні механічні властивості цих матеріалів.

Обґрунтовано вибір сталі ХВГ за ГОСТ 5950-73, наведено її хімічний склад, механічні властивості, основне призначення та особливості, описано вплив легувальних елементів на її властивості.

Наведено та охарактеризовано методи дослідження властивостей матеріалів: спектральні аналізи для визначення хімічного складу сплаву, механічні випробування для вимірювання твердості до та після гартування, металографічні дослідження для визначення макро- та мікроструктури сталі; описано основні можливі дефекти в її структурі: неметалеві включення, дефекти, викликані підвищеним вмістом прихованих домішок.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

4.1. Розробка маршрутної технології виготовлення зачисної фрези

Вибір заготовки для виготовлення деталі повинен відбуватись, виходячи з серійності виробництва, що витікає в вартість виготовлення самої деталі. Чим ближче параметри розмірів та форми заготовки до готової деталі, тим дорожчим буде виготовлення заготовки, проте на виготовлення деталі буде витрачено менше часу та матеріалу [22, 23].

При одиничному виготовленні зачисної фрези використання методів, що притаманні для серійного виробництва, не є доцільним. Також через параметри самої деталі, її отримання суто механічною обробкою з прокату також не є доцільним, оскільки маса готової деталі складає 6,6 кг, в той час як маса відрізка найближчого за розмірними параметрами прокату складає близько 17 кг, отже витрата металу в стружку складе близько 11 кг, майже вдвічі більше за масу отриманої деталі.

Отже, виготовлення деталі будемо вважати доцільним з використанням методу вільного кування з катаного прокату. Такий метод дозволить отримати заготовки з максимально можливою подібністю до параметрів деталі, використовуючи універсальне обладнання.

При розробці технології виготовлення деталі всі операції розподіляються на етапи, що дозволяє викласти послідовність кроків та їх кількість. В умовах кожного окремого виробництва обладнання та технологія підбирається та розробляється в індивідуальному порядку. Технологічний контроль за якістю виконання операцій призначається в тих місцях, де досягти абсолютної точності виконання найважче.

Оскільки отримання сталі, як сплаву, так само, як і отримання прокату на машинах неперервного литва заготовок є процесами, що ідентичні для майже всіх марок сталей та подібні між різними підприємствами-

виробниками, опис маршрутної технології проведемо без врахування цих етапів.

Маршрутна технологія отримання деталі включає в себе наступні процеси:

1. Вхідний контроль. Включає в себе отримання матеріалів у вигляді прокату виробництвом, відрізання його частини для проведення хімічного аналізу на відповідність до нормативно-технічної документації.

Обладнання: стрічкова пила, апарат для спектрального аналізу;

2. Кування. Після отримання дозволу на використання матеріалу від відділу технічного контролю від прокату відрізають заготовки необхідної довжини, їх нагрівання до температури кування - 1070°C, саме кування на молотах з використанням необхідного оснащення. Після закінчення процесу кування необхідно забезпечити сповільнене охолодження поковок.

Обладнання: стрічкова пила, муфельна піч, кувальний прес, кувальне оснащення;

3. Попередня термічна обробка. Після проведення операцій кування поковка матиме підвищену кількість дефектів структури через температурні навантаження, до яких додаються механічні пластичні деформації. Для полегшення подальшої механічної обробки та зменшення вірогідності виникнення браку під час подальших операцій, проводять попередню знеміцнюючу термічну обробку – відпал. Маршрутною технологією задано проведення ізотермічного відпалу, що має наступний режим: нагрівання до температури 790...810°C, витримку 45 хв, охолодження з піччю до температури 750°C, витримку 2 год, подальше охолодження з піччю до 550°C, далі на повітрі. Обладнання: муфельна піч, відповідне оснащення.

4. Механічна обробка. Механічна обробка поковок полягає в розточуванні, фрезеруванні та свердлуванні заготовок до отримання нею заданої конфігурації. Проводиться в два етапи: чорнова обробка, при якій деталь наближується до заданої форми та чистова, при якій деталі надають точних розмірів із заданою шорсткістю поверхні технічними вимогами до

деталі. Обробка включає в себе розточування поверхонь, свердлення та розточування отворів, стругання пазів та фрезерування зубів на поверхні. Обладнання: токарний верстат, стругальний верстат, фрезерувальний верстат, відповідний інструмент та оснащення;

5. Остаточна термічна обробка. Зміцнююча термічна обробка полягає в проведенні операцій неповного гартування і низькотемпературного відпуску. Гартування виконують за температури 830-850°C, забезпечення охолодження деталі в мастилі. Проведення низького відпуску проводиться за температури 180-190°C з витримкою 2 години. Операція гартування проводяться для надання деталі твердості, що задана технічними вимогами до деталі. Проте після суто гартування деталь має незадовільні параметри в'язкості, пластичності, які впливають в неможливість тривалої експлуатації деталі через її можливий передчасний вихід із ладу, для уникнення чого проводиться низький відпуск, який стабілізує структуру сталі, зберігаючи її високу твердість. Обладнання: гартувальна муфельна та відпускна печі, гартувальний бак з мастилом.

6. Фінішна обробка. Ці операції включають в себе шліфування поверхні зубів фрези, внутрішньої поверхні отвору для посадки фрези на вал, доведення розмірів за такої необхідності. Шліфування проводять після операцій гартування для полегшення процесу обробки та покращення якості поверхні. Обладнання: шліфувальний верстат, технологічне оснащення.

7. Технічний контроль. Операції контролю проводяться при прийомці матеріалу, після попередньої термічної, механічної обробки, після остаточної термічної та фінішної обробки. Як було зазначено, при прийомі матеріалу проводиться контроль матеріалу на відповідність нормативним документам. Після операції попередньої термічної обробки проводять контроль твердості на твердомірі для визначення правильності проведення відпалу деталей. Після попередньої механічної обробки проводять контроль відповідності форми, розмірів та шорсткості поверхонь. Після проведення зміцнюючої термічної обробки перевіряють твердість на твердомірі для

визначення правильності проведення операцій гартування та відпуску. У випадку відсутності у деталі необхідної твердості проводиться повторне гартування. Після операцій фінішної обробки проводиться контроль параметрів шліфованих поверхонь та контроль розмірів деталі. У випадку невідповідності параметрів поверхні відбувається аналіз можливості проведення повторної обробки, якщо додаткове шліфування провести неможливо, то деталь відбраковується. Також після операцій остаточної термічної обробки можливе проведення аналізу мікроструктури сталі, яку частіше проводять у центральній заводській лабораторії. Обладнання: твердоміри типу ТШ та ТК, профілемір, штангенциркуль, нутромір, металографічні мікроскопи, оснащення.

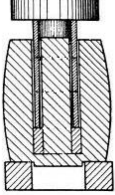
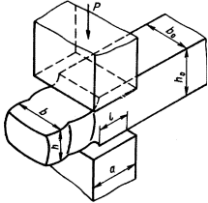
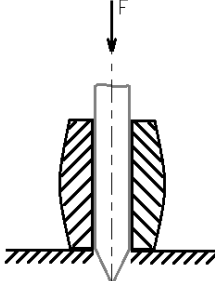
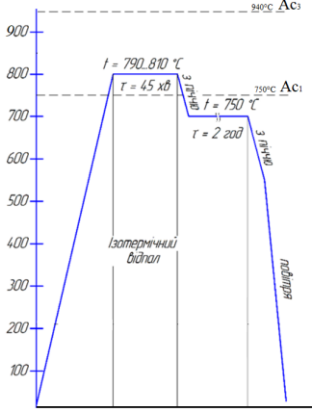
Схема маршрутної технології отримання деталі зі схемами обробки наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

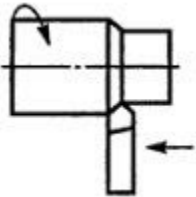
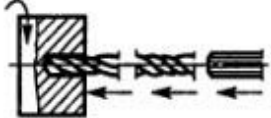
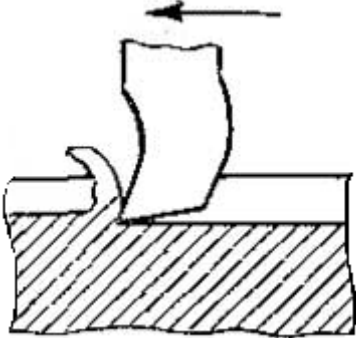
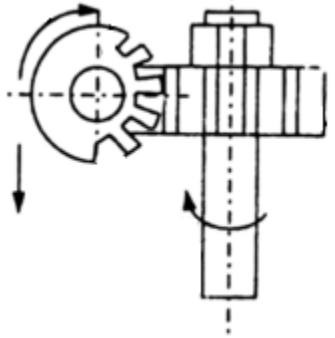
Схема технічного процесу отримання деталі «зачисна фреза»

Назва етапу 1	Назва операції 2	Інструмент, обладнання 3	Ескіз операції 4
Підготовка до кування	Відрізання прокату	Стрічкова пила	 <p>Рисунок 4.1 – Схема розрізання заготовок</p>
	Нормативний контроль заготовок	Спектрометр, твердомір типу ТШ	-

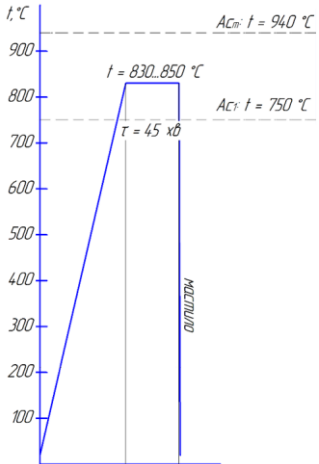
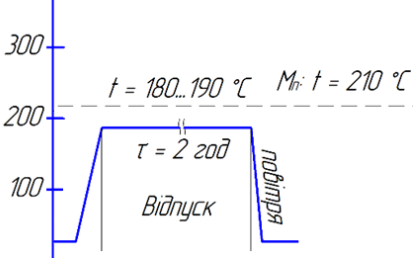
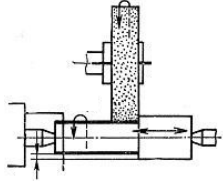
Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4
Кування	Нагрівання заготовки	Муфельна піч	-
	Прошивка	Суцільний, пустотілий прошивень, кувальний прес	 <p data-bbox="1086 645 1461 772">Рисунок 4.2 – Схема прошивання пустотілим прошивнем</p>
	Протяжка	Кувальний прес	 <p data-bbox="1106 987 1441 1070">Рисунок 4.3 – Схема протяжки</p>
	Пробивка	Бородок	 <p data-bbox="1106 1373 1441 1456">Рисунок 4.4 – Схема пробивки отвору</p>
Попередня термічна обробка	Ізотермічний відпал	Муфельна піч	 <p data-bbox="1094 1883 1453 1966">Рисунок 4.5 – Графік ізотермічного відпалу</p>
	Контроль твердості	Твердомір ТШ-2	-

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4
Механічна обробка	Точіння поверхонь	Токарний верстат	 <p data-bbox="1107 551 1442 629">Рисунок 4.6 – Схема точіння поверхні</p>
	Виконання отворів		 <p data-bbox="1107 775 1442 898">Рисунок 4.7 – Схема виконання отворів на токарному верстаті</p>
	Стругання пазів	Стругальний верстат	 <p data-bbox="1107 1263 1442 1346">Рисунок 4.8 – Схема стругання металу</p>
	Фрезерування зубів	Фрезерувальний верстат	 <p data-bbox="1107 1722 1442 1800">Рисунок 4.9 – Схема нарізання зубів</p>

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4
Термічна обробка	Неповне гартування	Муфельна гартівна піч	 <p>Рисунок 4.10 – Графік неповного гартування</p>
	Низький відпуск	Відпускна піч	 <p>Рисунок 4.11 – Графік низького відпуску</p>
	Контроль твердості	Твердомір ТК-2	-
	Контроль мікроструктури	Мікрошліф, металографічні мікроскопи	-
Фінішна обробка	Контроль розмірів	Штангенциркуль, нутромір	-
	Шліфування поверхонь	Шліфувальний верстат	 <p>Рисунок 4.12 – Схема шліфування валу</p>
	Контроль шорсткості	Профілемір	-
	Візуальний контроль	-	-

4.2. Висновок

Будь-яка технологія виготовлення деталі повинна бути оптимізованою для виробництва, бути якнайменш трудомісткою та забезпечувати мінімальну собівартість отримання готової деталі. Також технологічний процес виготовлення повинен забезпечувати виконання вимог щодо точності параметрів деталі, які передбачені кресленнями, технічними умовами та іншими нормативно-технічними документами.

В ході виконання розділу було описано спосіб виготовлення деталі, необхідні інструменти, пристрої, оснащення для її обробки, а також методи контролю за якістю матеріалу та дотримання технології виготовлення інструменту. Розроблено маршрутну технологію виготовлення зачисної фрези.

Маршрутна технологія включає в себе отримання заготовок із прокату методом кування для виготовлення самих заготовок в умовах одиничного виробництва шляхом використання універсального обладнання. Попередня термічна обробка, що представлена ізотермічним відпалом, проводиться для зменшення кількості дефектів структури поковок, зменшення кількості браку для наступних етапів виробництва, полегшення механічної обробки заготовок. Остаточна термічна обробка включає в себе операції неповного гартування та низького відпуску, якими забезпечується висока твердість та зносостійкість поверхні, згідно до технічних вимог, покладених на деталь.

РОЗДІЛ 5

РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1. Техніко-економічне обґрунтування технологічного процесу термічної обробки

Як було зазначено раніше, важливою частиною обробки деталі для надання їй визначених властивостей є термічна обробка. Існує три основних види термічної обробки: відпал, гартування та відпуск [7, 24].

Відпал. Вид знеміцнюючої термічної обробки, що полягає в нагріванні сталей до визначених температур, що можуть бути пов'язаними як з поліморфними перетвореннями, так і з природою металів, як такою, називають відпалом. До видів відпалу відносять [7]:

- відпал першого роду, до якого належать дифузійний, рекристалізаційний відпал та відпал для зняття залишкових напружень;
- відпал другого роду, різновидами якого є повний, неповний, ізотермічний відпал, нормалізація, графітізуючий та сфероїдизуючий відпал.

Призначення будь-якого відпалу, що відноситься до першого роду – переведення структури металу, що виник внаслідок попередньої обробки, з метастабільного в стійкий стан.

Відпал другого роду зазвичай проводяться для зменшення механічних властивостей сталей для полегшення їх механічної обробки.

Як було зазначено раніше (див. розділ 4), для зняття напружень в металі було обрано ізотермічний відпал. Такий відпал застосовується для зменшення витрат часу на проведення відпалу прокату, не може бути застосований для масивних деталей внаслідок неможливості рівномірного їх охолодження по об'єму. Для доєвтектоїдних сталей температури аналогічні повному відпалу, а для заєвтектоїдних – неповному відпалу. Після досягнення заданої температури проводять витримку, прискорено охолоджують деталь до температури 650...680°C, витримують за цієї температури і далі охолоджують на повітрі. Отримана структура заєвтектоїдних сталей – П + Ц [7].

На рисунку 5.1. наведено узагальнений графік проведення ізотермічного відпалу сталей.

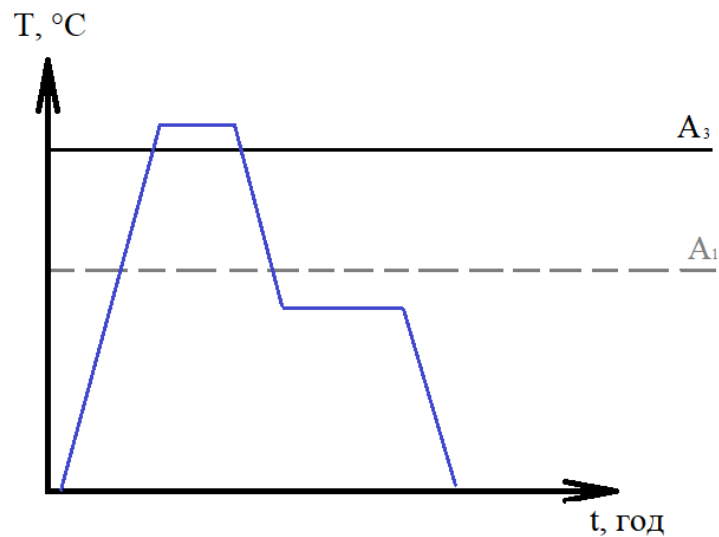


Рисунок 5.1 – Узагальнений графік проведення ізотермічного відпалу сталей

Гартування. Сенс гартування – підвищення твердості сплаву. У сталях гартування відбувається за рахунок утворення фази аустеніту по структурі сплаву, який при охолодженні зі швидкістю, що перевищує критичну, бездифузійно перетворюється на фазу мартенситу, що має високу твердість.

Розрізняють два види гартування: повне та неповне [7, 24].

Повне гартування частіше застосовують для доевтектоїдних сталей, воно полягає в нагріванні сталі вище температури A_3 , через що аустеніт утворюється по всій структурі, тому структура загартованої сталі буде складатись майже повністю з мартенситу, за виключенням високовуглецевих сталей, в яких частина залишкового аустеніту в структурі стає помітною і зростає зі збільшенням кількості вуглецю в сплаві.

Неповне гартування є доцільним для заевтектоїдних сталей, тобто температура нагрівання при якому не перевищує A_3 , при цьому структура сталі не стає повністю аустенітною, проте при гартуванні твердість сталі буде

вищою (див. розділ 2.1). На рисунку 5.2 зображено оптимальні температури гартування вуглецевих сталей.

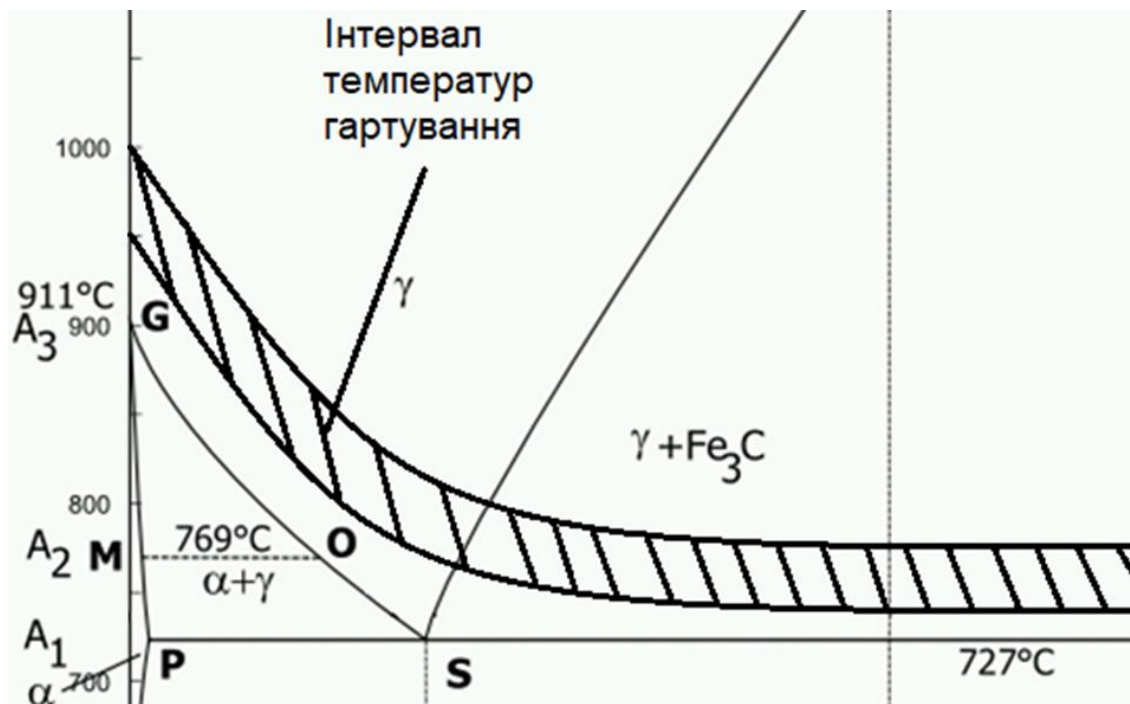


Рисунок 5.2 – Інтервал оптимальних температур гартування сталей на діаграмі Fe-Fe₃C [7, 24]

Визначення часу нагрівання та витримки деталі за заданої температури проводять за емпіричними даними [8]. Підбір середовища охолодження деталі при гартуванні є важливим етапом розробки технології, оскільки при гартуванні необхідно забезпечити прогартованість деталі на необхідну товщину, забезпечивши необхідну швидкість охолодження, проте таку, що не буде викликати утворення додаткових дефектів в результаті гартування.

Найчастіше в промисловості використовуються вода, мастило, розчини або розплави солей та лугів. В процесі охолодження деталі будуть відбуватись наступні процеси [4, 24]:

- плівкове кипіння, коли поверхня деталі буде ізольована від охолоджувального середовища шаром пари, яка буде сповільнювати охолодження. Для її руйнування необхідно виконувати постійні рухи деталі в баку або ж забезпечення барботування охолоджувального середовища;

- бульбашкове кипіння, коли руйнується парова плівка, середовище в місцях контакту з деталлю має температуру вище температури кипіння, тому відведення тепла є максимальним;

- прямий теплообмін, коли температура середовища охолодження менше температури кипіння, тому тепло передається напряму між тілами, швидкість охолодження зменшується до мінімуму.

В таблиці 5.1 наведено відомості щодо охолоджувальних середовищ для гартування сталей.

Таблиця 5.1

Основні відомості щодо охолоджувальних середовищ для гартування
[24]

Охолоджувальне середовище	Температура, °С		Відносна інтенсивність охолодження в інтервалі бульбашкового кипіння
	охолоджуючого середовища	бульбашкового кипіння	
Вода	20	400-100	1
	40	350-100	0,7
	80	250-100	0,2
10% розчин солі у воді	20	650-100	3
Розчин лугу у воді: 10% 50%	20	650-100	2
	20		2
Мінеральне масло	20-200	500-250	0,3

Для гартування нелегованих сталей в якості охолоджувального середовища найчастіше застосовують воду, водяні розчини солей та лугів. Воду застосовують як максимально дешево та доступне середовище, проте вона має схильність до помітного підвищення кількості дефектів при гартуванні. Хоча вода і має дуже високу охолоджувальну здатність, з підвищенням температури її ефективність зменшується, деталь у зоні високої температури охолоджується повільно, а при низькій – швидко, що призводить

до утворення небажаних структурних дефектів та, відповідно, підвищення кількості браку [24].

Через те, що леговані сталі мають підвищену стійкість переохолодженого аустеніту, їх критична швидкість гартування менше, ніж у вуглецевих сталей, тому використання менш ефективних охолоджуючих середовищ є вкрай доцільним через зменшення кількості браку. Мінеральне масло, що найчастіше використовується для гартування легованих сталей, забезпечує сприятливі умови для протікання мартенситного перетворення, проте має недолік – вартість, здатність до спалахування, схильність до старіння і втрати початкових властивостей [24].

Відпуск. Після проведення операції гартування зазвичай проводять відпуск. Відпуском називають [4, 24] нагрівання загартованої сталі до температур, менших за A_1 .

Структурні фази загартованої сталі є нерівноважними, їх зрівноваження супроводжується розпадом мартенситу гартування та залишкового аустеніту в структури Ф+Ц за дифузійним механізмом, що потребує витримки певної тривалості, залежно від температури нагрівання.

Розкладання структури мартенситу відбувається в декілька етапів, перший етап відбувається при нагріванні мартенситу до порівняно невисоких температур – 200...350°C. При витримці за таких температур відбувається збіднення мартенситу на вуглець, в його решітці виділяються карбіди. Вміст вуглецю в мартенситі відпуску залежить в першу чергу від початкової концентрації, температури та в останню чергу від тривалості витримки. Збіднення мартенситу вуглецем також призводить до того, що ступінь тетрагональності, що виникла при пересиченні фериту вуглецем, зменшується і за температур близько 350°C решітка стає схожою на кубічну, отже і решітку мартенситу в такому випадку можна вважати більш врівноваженою, проте ця решітка залишається спотвореною навантаженнями пружної деформації і має підвищену кількість дефектів [24]. Також при відпуску сталей зменшується їх об'єм, порівняно з загартованим станом.

За температури відпуску близько $200\text{...}300^{\circ}\text{C}$ відбувається перетворення залишкового аустеніту на мартенсит, що збіднений на вуглець, та ті ж карбіди, що утворюються при розкладанні мартенситу, але такі, що мають інший структурний стан [4, 7, 24].

За температури відпуску близько 400°C відбувається зняття напружень та карбідне перетворення, повністю протікає процес виділення вуглецю з мартенситу, відбувається утворення цементиту. Утворені карбіди мають високу дисперсність та форму, наближену до сферичної, відбувається полігонізація структури та релаксація напружень, а утворену за таких температур структуру називають трооститом відпуску.

Розкладання мартенситу при проведенні відпуску впливає на механічні властивості сталі. При низькому відпуску зменшується схильність сталі до крихкого руйнування, а високовуглецеві сталі з високою твердістю після гартування зазвичай зберігають свою твердість. Подальше підвищення температури відпуску значно зменшує твердість, міцність, проте збільшує пластичність та тріщиностійкість. Графік падіння твердості загартованої сталі ХВГ при відпуску було наведено на рисунку 3.1.

5.2. Дослідницька частина

Попередня термічна обробка – ізотермічний відпал, що проводиться для сталі ХВГ з метою зняття наклепу з її структури, якщо такий був утворений, також зменшується до мінімуму кількість дефектів структури, що виникли внаслідок пластичних деформацій та термічного впливу, що загалом призводить до значного зменшення твердості і полегшить наступну механічну обробку сталі, а також покращить якість поверхні в порівнянні з іншими видами відпалу [7, 24]. Температурні режими: нагрівання до температури $790\text{...}810^{\circ}\text{C}$, витримка 45 хвилин, охолодження з піччю до температури 750°C , витримка 2 години, охолодження з піччю до температури близько 550°C , далі на повітрі. Графік ізотермічного відпалу наведено в додатку Б.

На рисунку 5.3 показана мікроструктура сталі ХВГ після відпалу, її склад: перліт та карбіди, твердість близько 240 МПа.

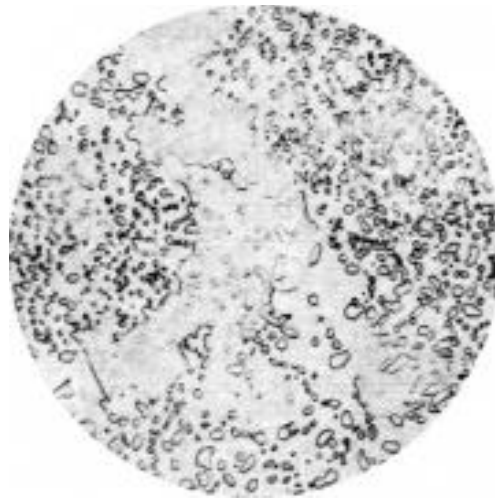


Рисунок 5.3 – Мікроструктура сталі ХВГ після відпалу, збільшення x1000

В якості остаточної обробки для сталі ХВГ призначаємо неповне гартування з охолодженням у мастилі. Основне призначення гартування – збільшення твердості сплаву. Твердість після неповного гартування сталі марки ХВГ складає 63...65 HRC або 650...690 МПа, в залежності від хімічного складу сплаву. Тривалість процесу нагрівання приймемо як 2 хвилини на 1 мм товщини товщої стінки деталі, товщину якої будемо вважати 14 мм. Витримку приймемо як 80 секунд на 1 мм найменшої стінки, яка має товщину 12 мм. Отже, тривалість процесу нагрівання і витримки під гартування складає 45 хвилин. Температурний режим: нагрівання до температури 830...850 °С, витримка 45 хвилин, охолодження в мастилі до кімнатної температури. Графік гартування наведено у додатку Б. Мікроструктура загартованої сталі складається з мартенситу гартування, залишкового аустеніту та включень карбідів, наведена на рисунку 5.4.

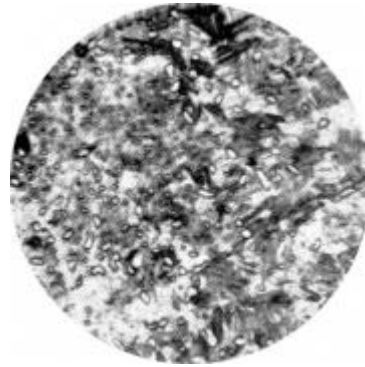


Рисунок 5.4 – Мікроструктура загартованої сталі ХВГ, збільшення x1500

Оскільки до деталі сформовані технічні вимоги, а саме твердість поверхні 60...62 HRC, доцільним будемо вважати проведення низького відпуску. Такий відпуск дозволяє зберігати високу твердість після гартування сталі ХВГ, оскільки дифузійні процеси пов'язані з розкладанням мартенситу проходять не повністю. Структура після низького відпуску – мартенсит відпуску, залишковий аустеніт, карбіди. Твердість не менше 62 HRC або 640 МПа. Також можливим є проведення відпуску за менших (120-150 °С) температур, за рахунок збільшення часу витримки до 12 годин [4]. Температурний режим: нагрівання до температури 180...190 °С, витримка 2 години, охолодження на повітрі. Графік відпуску наведено у додатку Б. Мікроструктура загартованої та низьковідпущеної сталі ХВГ наведена на рисунку 5.5.

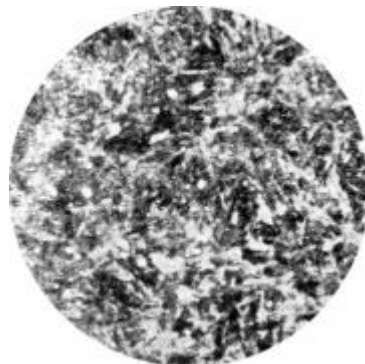


Рисунок 5.5 – Мікроструктура сталі ХВГ після гартування та низького відпуску, збільшення x1500

5.3. Вибір основного обладнання для термічної обробки

Серед обладнання термічної дільниці цеху можна виділити дві категорії – основне та допоміжне обладнання [25].

До основного обладнання належать агрегати, що безпосередньо залучені до виконання робіт щодо нагрівання та охолодження деталей, до цієї категорії можна віднести наступне обладнання: термічні печі, установки, агрегати для охолодження, правильні інструменти, очисні установки тощо.

До допоміжного обладнання належать засоби механізації, теплоенергетичне обладнання, пристрої для охолодження та барботування тощо.

В якості агрегатів основного обладнання обираємо:

1. Електрична камерна піч опору типу СНО-2,7.3,5.2/9 для проведення операцій ізотермічного відпалу, параметри наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2

Основні параметри печі СНО-2,7.3,5.2/9

Номінальна потужність, кВт	6
Максимальна температура робочого простору, °С	900
Робоча атмосфера	Повітря
Максимальна маса садки, кг	25
Маса печі, не більше, кг	120

2. Електрична камерна піч опору типу СНО-2.3.2/9 для проведення операцій гартування, характеристики печі наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3

Основні параметри печі СНО-2.3.2/9

Номінальна потужність, кВт	3
Максимальна температура робочого простору, °С	900
Робоча атмосфера	Повітря
Максимальна маса садки, кг	15
Маса печі, не більше, кг	90

3. Електрична камерна піч опору типу СНО-4.5.5/4 для проведення операцій низького відпуску. Технічні характеристики наведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4

Основні параметри печі СНО-4.5.5/4

Номінальна потужність, кВт	4
Максимальна температура робочого простору, °С	400
Робоча атмосфера	Повітря
Максимальна маса садки, кг	45
Маса печі, не більше, кг	170

5.4. Техніка безпеки при термічній та хіміко-термічній обробці

При термічній та хіміко-термічній обробці металів можливий вплив на робітників наступних небезпечних факторів, вплив яких повинен бути максимально обмежений [26]:

- незахищені рухливі елементи устаткування;
- деталі, що пересуваються та транспортні засоби, що рухаються;
- пил, несприятливий мікроклімат;
- підвищена температура поверхонь та знижена температура при обробці холодом;

- висока напруга електричних ланцюгів та підвищена напруженість магнітного поля;
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання, шуму;
- знижена освітленість робочих місць;
- хімічні фактори.

Виробничі та допоміжні приміщення термічних цехів та ділянок повинні бути обладнані системами опалення, вентиляції та кондиціонування [26].

Робочі приміщення повинні бути освітлені люмінесцентними або газорозрядними лампами [26].

На виробничих ділянках повинні бути обладнані санітарні пости, оснащені аптечками та іншими засобами надання першої допомоги [26].

На ділянках ціанування, рідинного азотування та свинцевих ванн повинні бути обладнані санітарно-побутові приміщення, що ізольовані від інших приміщень. Умивальники в цих приміщеннях повинні бути обладнані педальними або ліктювими пусковими пристроями [26].

Працівники гарячих ділянок цеху повинні забезпечуватись підсоленою газованою водою з вмістом 0,5% солі в розрахунку 4-5 л на людину в зміну, а також іншими напоями. Пристрої питного водопостачання повинні утримуватись в чистоті, мати зливальні раковини або спеціальні приймачі для зливання води. Не дозволяється установка пристроїв питного водопостачання на ділянках ціанування, рідинного азотування і свинцевих ванн [26].

У виробничих приміщеннях термічних цехів, де проводяться роботи зі шкідливими речовинами, для промивання очей і шкіри повинні бути передбачені душі і фонтанчики в необхідних місцях та кількостях, щоб забезпечити їх використання не пізніше ніж через 6...12 секунд після ураження [26].

Виробничі та побутові стічні води підлягають обов'язковому знешкодженню до скидання їх в загальну каналізацію. Спускання кислих та лужних розчинів повинно здійснюватися по окремих каналах або трубопроводах [26].

Виробниче устаткування зі шкідливими виділеннями повинно бути встановлено в приміщеннях, ізольованих від пічних прольотів та одне від одного [26].

Для кожного працівника повинно бути забезпечене зручне робоче місце, що не ускладнює його дії під час роботи. Робочі місця повинні розміщуватись поза лінією руху вантажів, що переносяться вантажопідіймальними засобами [26].

Біля кожного робочого місця повинні бути передбачені площадки для складування деталей до і після термічної обробки. На площадках охолодження деталей необхідно виключити можливість дотику до металу. Для розміщення пристосувань, оснащення тощо на робочому місці повинні бути передбачені шафи, стелажі та інше [26].

Поверхні органів управління, що призначені для дії в аварійних ситуаціях, повинні бути пофарбовані в червоний колір [26].

При термічній обробці металів повинні застосовуватись лише такі хімічні речовини та матеріали, які відповідають вимогам технічно-нормативних правових актів і мають супроводжувальні документи. Горючі матеріали, що застосовуються в технологічних процесах, повинні мати встановлені пожежонебезпечні параметри. Хімічні речовини та матеріали, що використовуються, не повинні здійснювати шкідливого впливу на працівників. На робочих місцях концентрації токсичних речовин не повинні перевищувати ГДК згідно з відповідними нормативно-технічними документами [26].

На термічну обробку деталі подаються чистими, без слідів забруднення та змащення [26].

Для всіх термічних процесів, де можливо за умовами технології, слід виключати полум'яне нагрівання, замінюючи його електричним [26].

Гартівні масла в баку, у який занурюють при гартуванні деталі, повинен у 4-6 разів перевищувати обсяг деталей, що завантажуються [26].

Для гартування необхідно застосовувати масло з температурою спалаху не нижче 170°C. Максимальна робоча температура нагрівання масла при гартуванні не повинна перевищувати 80°C [26].

Для забезпечення працівників від дії небезпечних виробничих факторів необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту: спеціальне взуття, одяг, окуляри, респіратори тощо [26].

5.5. Висновок

При виготовленні деталі технологією виробництва включено в технологічний процес попередню знеміцнюючу та кінцеву зміцнюючу термічну обробку.

В якості попередньої термічної обробки деталі «зачисна фреза» зі сталі марки ХВГ за ГОСТ 5950-73 після кування було обрано ізотермічний відпал. Такий відпал включає в себе нагрівання заготовки до температури 790...810°C, витримку за цієї температури, повільне охолодження до температури 750°C, витримку та подальше повільне охолодження до температури 550°C, далі на повітрі. Отримана структура забезпечує зняття напружень в структурі, зменшення твердості для полегшення термічної обробки. Отримана твердість для сталі ХВГ складає близько 240 НВ, структура – перліт та карбіди.

В якості зміцнювальної термічної обробки зачисної фрези було обрано неповне гартування, сутність якого полягає в нагріванні деталі до температур 830...850°C, витримку та охолодження у мінеральному маслі. Після гартування сталь має високу твердість, що складає близько 64 HRC, низьку пластичність та має підвищену схильність до крихкого руйнування. Структура – мартенсит гартування та карбіди. Після гартування для стабілізації структури та властивостей проводять низький відпуск за температури 180...190°C, що забезпечить твердість близько 62 HRC, структуру мартенситу відпуску та карбідних включень.

Обладнання для термічної обробки: для ізотермічного відпалу обрано камерну електричну піч опору СНО-2,7.3,5.2/9, для гартування камерну електричну піч опору СНО-2.3.2/9, для операції низького відпуску – камерну електричну піч опору СНО-4.5.5/4. Наведено характеристики обладнання.

Розглянуто техніку безпеки при виконанні термічної обробки.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведений аналіз умов роботи деталі «зачисна фреза», що виконана у вигляді пустотілого циліндра з повздовжніми зубцями на поверхні. Деталь використовується в агрегаті зачисної машини, як інструмент для очищення металевого стрижня електрода від покриття.

Основні вимоги, що покладаються на деталь – твердість поверхні зубців 60...62 HRC, шорсткість 0,8 мкм. Такі вимоги забезпечують оптимальне відношення ресурсу роботи деталі до витрат на її виготовлення. Основною причиною виходу деталі із ладу є знос зубців на поверхні.

Проведено аналіз літератури щодо вибору методу зміцнення деталі «зачисна фреза». Враховуючи виробничі можливості підприємства, викликані серійністю виробництва, було визначено, що використання методів хіміко-термічної обробки та використання високолегованих та швидкорізальних сталей є недоцільним, оскільки застосування ординарних інструментальних сталей та методів термічної обробки – гартування та відпуску, достатньо для виконання технічних вимог, що покладаються на деталь.

Для виготовлення деталі було запропоновано сталь марки ХВГ відповідно до ГОСТ 5950-73 через попит на неї та її властивості. Обрано методи дослідження властивостей сталі: спектральний аналіз для дослідження хімічного складу сплаву, механічні випробування на твердість для контролю режимів термічної обробки, методи металографічного аналізу – макро- і мікроаналіз для дослідження структури сталі.

Розроблено маршрутну технологію виготовлення деталі «зачисна фреза» зі сталі марки ХВГ, яка містить наступні основні етапи: підготовчі роботи, кування, попередня термічна обробка – відпал; механічна обробка, кінцева термічна обробка – гартування, відпуск; фінішні операції, періодичний контроль.

В роботі запропоновано термічну обробку, що складається з попередньої термічної обробки – ізотермічного відпалу з режимами: нагрівання до 790-

810°C, витримку 45 хв, повільне охолодження до 750°C, витримку 2 години, повільне охолодження до 550°C, далі на повітрі; остаточної термічної обробки – неповного гартування та низького відпуску з режимами: нагрівання до 830...850°C, витримка 45 хв, охолодження в мінеральному маслі та нагрівання до 180...190°C, витримка 2 години, відповідно. Кінцева твердість складає близько 62 HRC, структура – мартенсит відпуску, невелика кількість залишкового аустеніту, карбідні включення.

В роботі запропоновано основне обладнання для проведення термічної обробки: піч СНО-2,7.3,5.2/9 для відпалу, СНО-2.3.2/9 для гартування та СНО-4.5.5/4 для низького відпуску.

Також розглянуто техніку безпеки виконання робіт в термічних цехах та дільницях, з урахуванням вимог чинного законодавства України.

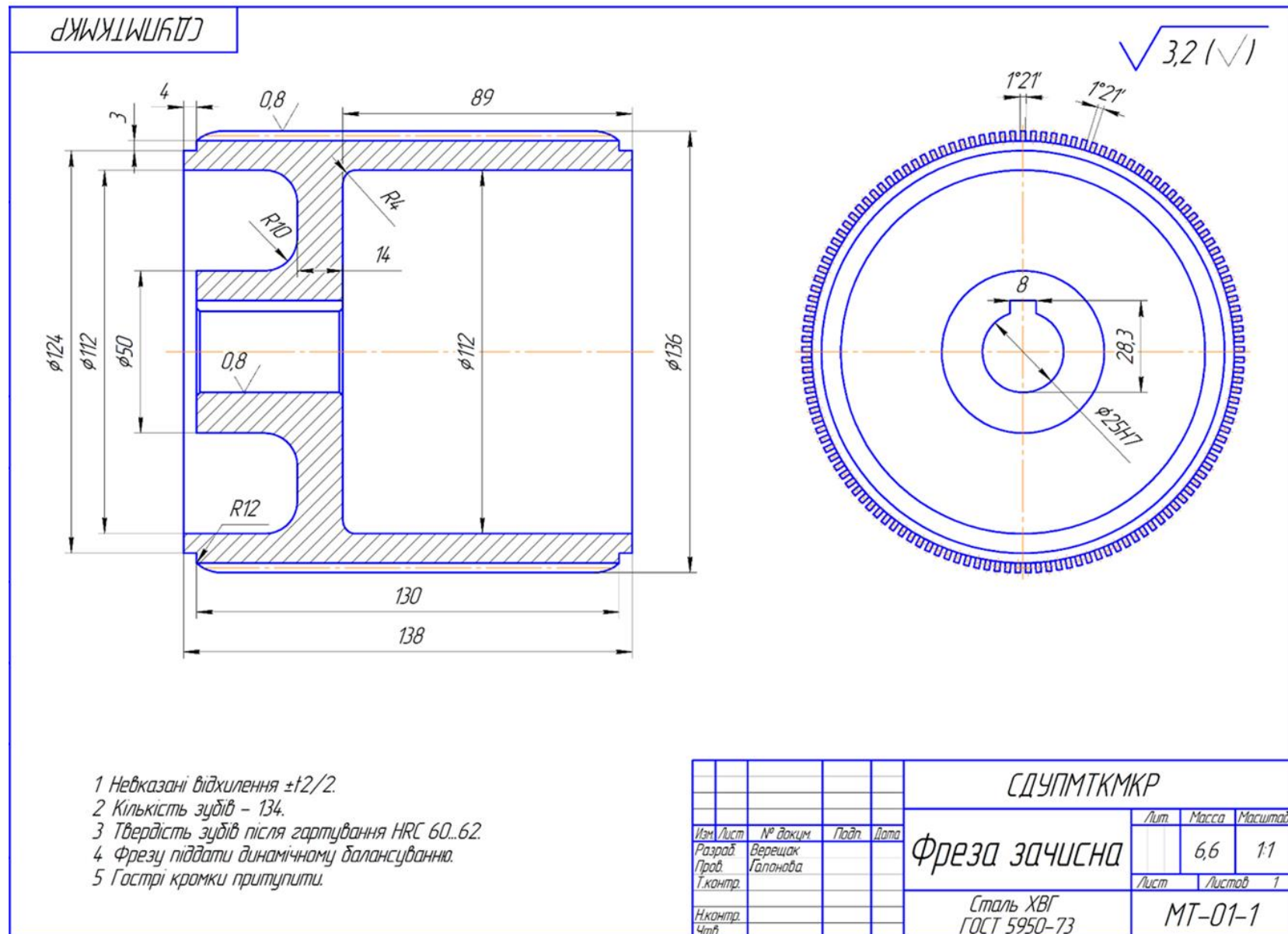
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ГОСТ 9466-75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация и общие технические условия. Вид. офіц.
2. Сидлин З. А. Производство электродов для ручной дуговой сварки. Київ: Екотехнологія, 2009. 464 с.
3. Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде: Харьков: ННЦ ХФТИ. 2006. 304 с.
4. Геллер Ю.О. Инструментальные стали, Москва: Металлургия, 1975. 584 с.
5. Инструментальные стали: Довідник / Позняк Л.А. та ін. Москва: Металлургия, 1977. 168 с.
6. ГОСТ 5950-73. Прутки и полосы из инструментальной легированной стали. Технические условия. Вид. офіц.
7. Металлознавство: Підручник / О. М. Бялік та ін. Київ: ОВЦ «Політехніка», 2001. 375 с.
8. Лахтин Ю. М. Азотирование сталей / Лахтин Ю. М., Коган Я. Д. Москва: Машиностроение, 1976. 256 с.
9. Погребна Н., Куцова В., Котова Т. Способи зміцнення металів: навч. посіб. Дніпро: НМетАУ, 2021. 89 с.
10. РД 50-412-83. Методические указания. Надежность в технике. Упрочнение деталей машин. Выбор режимов азотирования по долговечности. Общие требования. Вид. офіц.
11. РД 50-187-80. Методические указания. Надежность в технике. Упрочнение стальных изделий химико-термической обработкой. Диффузионное хромирование. Вид. офіц.
12. ГОСТ 28426-90. Термодиффузионное упрочнение и защита металлических изделий. Общие требования к технологическому процессу. Вид. офіц.

13. Елагина, О. Ю. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин: посібник / О. Ю. Елагина. Москва: Университетская книга; Логос, 2020. 488 с.
14. ГОСТ 10051-75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Типы. Вид. офіц.
15. Feng Z., Tzeng Y., Field J. E. Friction of diamond on diamond in ultra-high vacuum and low-pressure environments // Journal of Physics D: Applied Physics. — 1992. — Vol. 25, iss. 10. — P. 1418. — doi:10.1088/0022-3727/25/10/006 (date of access: 23.05.2023).
16. Нежинский Е. И. Разработка алмазного инструмента на гальванической связке. Вестник магистратуры. Москва, 2016. №12-4(63).
17. ГОСТ 4543-71. Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия. Вид. офіц.
18. Морфология сульфидных включений в металле электрошлаковой наплавки / Е.Н. Парахневич та ін. // Металл и литье Украины, 2011. № 3. С. 23-27.
19. В. Я. Дубовой. Флокены в стали: Монографія. Москва: ГНТИ, 1950. 333 с.
20. ГОСТ 9012-59. Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю. Вид. офіц.
21. ГОСТ 9013-59. Металлы. Метод измерения твердости по Виккерсу. Вид. офіц.
22. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1. Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Сулова, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. 5-е изд, перераб. и доп. Москва: Машиностроение. 1, 2001. 912 с., ил.
23. Матеріалознавство та технологія матеріалів (у схемах і завданнях) [Текст]: навч. посіб. / Т. П. Говорун, О. П. Гапонова, С. В. Марченко – Суми: СумДУ, 2020. 163 с.
24. Кузін О. А. Металознавство та термічна обробка металів. О. А. Кузін, Р. А. Яцюк. Львів: Афіша, 2002. 304 с.

25. Будник А.Ф. Типове обладнання термічних цехів та дільниць: Посібник. Суми: Вид-во СУМДУ, 2008. 212 с.
26. Про затвердження Правил охорони праці при термічній обробці металів: наказ Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 18.12.2007 р. № 315.

Додаток А



Додаток Б

