

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

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

Фізичне матеріалознавство
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

Магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему Дослідження впливу хімічного складу швидкорізальних сталей з метою проектування термічного відділення інструментального цеху із річною програмою виготовлення 100 тон

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи ІФ-222М

Спеціальності 132 Матеріалознавство

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

БРІКР.А

(прізвище та ініціали)

Керівник КЛИМОВ О.В

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

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

Інститут, факультет Фізико-технічний, інженерно-фізичний факультет

Кафедра Фізичного матеріалознавства

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Прикладне матеріалознавство

(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 20__ року

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

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Дослідження впливу хімічного складу швидкорізальних сталей з метою проектування термічного відділення інструментального цеху із річною програмою виготовлення 100 тон

керівник проєкту (роботи) Климов Олександр Володимирович, доцент каф.ФМ, к.т.н

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «12» 09 2023 року № _____

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 17.12.2023

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) хімічний склад сталей, зразки

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1.Літературний огляд 2. Матеріали та методика досліджень. 3. Експериментальна частина 4. Економічна частина 5. Охорона праці в галузі.

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

Хімічний склад дослідних сталей, Структурний стан евтектичних карбідів, Типова морфологія карбідів в еспериментальних сталях, Результати порівняльних випробувань стійкості

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	КЛИМОВ О.В		
2	КЛИМОВ О.В		
3	КЛИМОВ О.В		
4	НЕСТЕРОВ О.В		
5	КРУГЛІКОВА В.В		
НК	ФАСОЛЬ Є.О		

7. Дата видачі завдання «_10_» жовтня 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Аналітичний огляд	10.10.2023	
2	Матеріали та методики досліджень	26.10.2023	
3	Експериментальна частина	05.11.2023	
4	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	16.11.2023	
5	Економічна частина	10.12.2023	

Студент(ка)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 90 с., 14 рис., 14 табл., 52 джерел

Об'єкт дослідження: швидкорізальні сталі

Предмет дослідження – евтектичні карбіди в економнолегованих швидкорізальних сталях.

Мета роботи: дослідити властивості та морфологію евтектичних карбідів.

В роботі розглянута природа формування евтектичних карбідів в економнолегованих швидкорізальних сталях з додатковим введенням ніобію та титана. Обговорюються зміни хімічного складу матриці та карбідів в залежності від етапів термічної обробки. Встановлено, що експлуатаційні властивості знаходяться на задовільному рівні.

ЧЕРВОНОСТІЙКІСТЬ, МІКРОСТРУКТУРА, ЕВТЕКТИЧНІ КАРБІДИ,
ШВИДКОРІЗАЛЬНА ЕКОНОМНОЛЕГОВАНА СТАЛЬ, ТЕРМІЧНА
ОБРОБКА, ТИТАН, НІОБІЙ, ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ, ОХОРОНА ПРАЦІ.

ЗМІСТ

<u>Вступ</u>	7
<u>1 Аналітичний огляд</u>	Ошибка! Закладка не определена.
<u>1.1 Загальні відомості про швидкорізальні сталі</u>	8
<u>1.2 Вплив легувальних елементів на властивості швидкорізальних сталей</u> ..	9
<u>1.3 Види сталей та умови їх експлуатації</u>	15
<u>1.3.1 Швидкорізальні сталі помірної теплостійкості</u> ..	Ошибка! Закладка не определена.
<u>1.3.2 Тверді сплави</u>	24
<u>2 Матеріали та методики досліджень</u>	27
<u>2.1 Хімічний склад та технологія отримання сплаву</u>	27
<u>2.2 Методика виготовлення зразків для дослідження</u>	28
<u>2.3 Дослідження мікроструктури</u>	29
<u>2.3.1 Принцип роботи РЕМ</u>	29
<u>2.3.2 Метод РСМА</u>	33
<u>3 Експериментальна частина</u>	Ошибка! Закладка не определена.
<u>3.1 Дослідження економнолегованих швидкорізальних сталей</u>	Ошибка! Закладка не определена.
<u>3.2 Технологія виготовлення інструментів зі сталі РЗАМЗФ2Б1Т1</u> ..	Ошибка! Закладка не определена.
<u>4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях</u>	58
<u>4.1 Аналіз потенційних небезпек</u>	58
<u>4.2 Заходи по забезпеченню безпеки</u>	59
<u>4.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці</u>	63

	6
4.4 Заходи з пожежної безпеки	67
4.5 Заходи забезпечення безпеки в умовах надзвичайних ситуацій	
5 Економічна ефективність роботи	73
5.1 Тенденції розвитку світового ринку технологій	73
5.2 Техніко-економічні розрахунки	75
5.2 Економічна ефективність	82
Висновки	84
Перелік посилань	85
Додаток А	Ошибка! Закладка не определена.

ВСТУП

Інтенсифікація виробництва, впровадження нових прогресивних технологічних процесів, сучасного високопродуктивного обладнання, створення нових важкооброблюваних матеріалів призводить до посилення умов експлуатації різального інструменту і зростанню вимог, що пред'являються до його якості.

Різальний інструмент багато в чому визначає ефективність використання як універсального, так і автоматизованого верстатного обладнання. Розвиток технологій машинобудування в значній мірі залежить від технічного рівня інструментального виробництва. Термін служби інструменту, число проміжних перезаточок істотно впливають на вартість готових деталей.

Інструментальні матеріали, використовувані для виготовлення різальних інструментів, повинні відповідати таким основним вимогам:

- 1) висока твердість, більш ніж в 3...4 рази перевищує твердість оброблюваного матеріалу;
- 2) висока теплостійкість - здатність зберігати необхідну твердість до певної температури;
- 3) висока зносостійкість при підвищеній температурі - опірність зносу різального клину;
- 4) високі міцність і формостійкість різального клину.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Загальні відомості про швидкорізальні сталі

Швидкорізальні сталі становлять основний матеріал для виготовлення до 60% різального інструменту. Процес різання супроводжується великим виділенням тепла та великими контактними напругами, призводячи до зносу різального інструменту. Контактні навантаження і високі температури в зоні різання призводять до адгезії, тобто злипання матеріалу інструменту зі стружкою, що призводить до виривання частин матеріалу інструменту і прискорює знос.

При відсутності мастильно-охолоджувальних рідин переважає абразивний знос. Ці фактори впливають на передню і задню поверхні різального інструменту. Ступінь і характер зносу визначають витрату інструменту, якість обробки і розміри деталей.

Різальна частина інструменту працює в умовах високих температур та високих навантажень, тому інструментальні матеріали повинні мати властивості, такі як твердість, міцність, зносостійкість, теплостійкість і теплопровідність.

Твердість дозволяє різучому інструменту відділяти стружку, в'язкість чинить опір динамічним ударним навантаженням, міцність опір дії різних навантажень, зносостійкість впливає на тривалість збереження гостроти інструменту, теплостійкість забезпечує стійкість при високих температурах, а теплопровідність сприяє охолодженню в зоні різання, поліпшуючи умови роботи різального інструменту [1-3].

Сталі, призначені для виготовлення різальних інструментів, зазвичай володіють наступними характеристиками:

Висока твердість: Зазвичай має значення близько 63-66 HRC, а для обробки важкооброблюваних матеріалів - 66-69 HRC. Для підвищення

міцності різальних граней на ділянках, які піддаватимуться підвищеним напругам, може використовуватися ціанування або азотування для досягнення високої твердості в тонкому поверхневому шарі.

Висока міцність та опір малій і пластичній деформації: Матеріали повинні мати велику міцність та опір відносно невеликій пластичній деформації. В деяких випадках також може бути важливою в'язкість матеріалу.

Теплостійкість: Особливо важлива, якщо різання виконується при високих швидкостях або при обробці важкооброблюваних матеріалів. Теплостійкість дозволяє інструментам зберігати свої властивості при підвищених температурах.

Ці характеристики визначають ефективність та тривалість служби різальних інструментів, особливо при роботі з важкодоступними або важкооброблюваними матеріалами.

1.2 Вплив легувальних елементів на властивості швидкорізальних сталей

Швидкорізальні сталі проявляють високу теплостійкість або стійкість до високих температур, зберігаючи свою мартенситну структуру при нагріванні до 600–620 °С. Ця властивість дозволяє їм утримувати високу твердість, міцність і зносостійкість під час різання при великих швидкостях, коли виникає підвищена температура на різальній кромці. Застосування швидкорізальних сталей приводить до значного підвищення швидкості різання (в 2–4 рази) і стійкості інструментів (в 10–30 разів) порівняно зі сталями, які не володіють такою теплостійкістю.

Основні елементи легування, які забезпечують теплостійкість швидкорізальних сталей, включають в себе вольфрам і його аналог молібден. Присутність ванадію і кобальту також сприяє підвищенню їх теплостійкості.

Швидкорізальні сталі належать до карбідного (ледебуритного) класу матеріалів. У їх фазовому складі в відпаленому стані містяться легований ферит та карбіди, такі як M_6C , $M_{23}C_6$, MC , M_3C . Основним карбідом у швидкорізальній сталі є карбід M_6C , в якому також розчинений ванадій. Хром розчинений у фериті, а вольфрам і ванадій переважно знаходяться у карбідах.

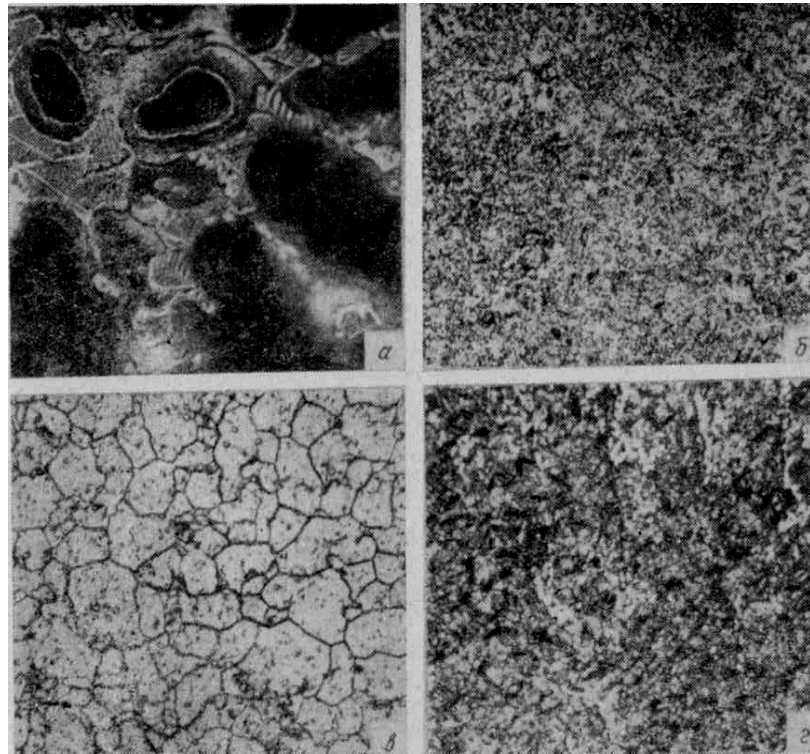
Лита структура швидкорізальної сталі включає складну евтектику, схожу на ледебурит, яка розташована вздовж границь зерен (див. рис. 1.1, а). Гаряча механічна обробка руйнує цю евтектичну сітку. У сильно деформованих швидкорізальних сталях евтектичні та вторинні карбіди рівномірно розподілені в основній матриці (див. рис. 1.1, б), створюючи структуру, аналогічну сорбітоподібному перліту після відпалу.

Далі розглянуто вплив основних легувальних елементів на властивості типових швидкорізальних сталей.

Щодо впливу вольфраму, можна сказати, що задовільна вторинна твердість і теплостійкість спостерігаються вже при вмісті 7–8% вольфраму. Однак в цих сталях, при гартуванні, може виникати велике зерно та суттєво зменшуватися міцність та в'язкість через недостатню кількість карбіду M_6C в порівнянні з $M_{23}C_6$. Збільшення вмісту вольфраму до 12–13% призводить до збільшення кількості карбідів M_6C , покращуючи стійкість проти перегрівання. Однак параметри ґратки карбіду та його склад залишаються практично незмінними. Збільшення вмісту вольфраму від 12–13% до 18–20% призводить до значного зростання параметра ґратки карбіду MC , вказівки на збільшення концентрації вольфраму в карбіді та зростання вакансій в його ґратці, які заміщаються атомами вольфраму.

Зі збільшенням вмісту вольфраму спостерігаються зміни в концентрації ванадію у розчині. Ця концентрація досягає свого максимуму і збільшується

майже вдвічі при зростанні вмісту вольфраму від 6 до 13%. Це обумовлено розчиненням значної кількості карбідів M_6C , які містять ванадій. При подальшому збільшенні вмісту вольфраму концентрація ванадію в мартенситі зменшується через зниження його вмісту в карбіді M_6C і перехід частини в карбід MC . Ці зміни в складі мартенситу визначають теплостійкість і інтенсивність твердіння, яке протікає інтенсивно в сталях з 12–20% вольфраму. Проте, в сталях з 12–13% вольфраму це спричинено більшою концентрацією ванадію в мартенситі, а при 18–20% вольфраму - великим зростанням параметра ґратки карбіду MC .



а - ледебурит в ливарній сталі; б - деформована і відпалена сталь;

в - загартована сталь; г - загартована і відпущена сталь

Рисунок 1.1 - Мікроструктура швидкорізальних сталей, $\times 500$ [2]

Зі збільшенням вмісту вольфраму спостерігаються зміни в концентрації ванадію у розчині. Ця концентрація досягає свого максимуму і збільшується майже вдвічі при зростанні вмісту вольфраму від 6 до 13%. Це обумовлено

розчиненням значної кількості карбідів M_6C , які містять ванадій. При подальшому збільшенні вмісту вольфраму концентрація ванадію в мартенситі зменшується через зниження його вмісту в карбіді M_6C і перехід частини в карбід MC . Ці зміни в складі мартенситу визначають теплостійкість і інтенсивність твердіння, яке протікає інтенсивно в сталях з 12–20% вольфраму. Проте, в сталях з 12–13% вольфраму це спричинено більшою концентрацією ванадію в мартенситі, а при 18–20% вольфраму - великим зростанням параметра ґратки карбіду MC .

Щодо впливу молібдену, його хімічний аналог вольфраму, на структурні перетворення та властивості аналогічний. Температура $\alpha \leftrightarrow \gamma$ -перетворення в молібденових сталях трошки нижча, ніж у вольфрамових. Після утворення δ -(γ -) фази, кристалізація молібденових та вольфрамових сталей відбувається за перектектичною реакцією, проте температурна область цього перетворення в молібденових сталях ширше. Це призводить до меншого збереження рідкої фази під час перетворення. У молібденових сталях це спричиняє утворення тонкої евтектики при нижчих температурах, призводячи до дисперсного розподілу карбідів у деформованих сталях, що позитивно впливає на їхні механічні властивості.

Зазвичай молібден присутній у всіх марках швидкорізальних сталей в кількостях приблизно 0,3–1,0%. Це пов'язано з використанням в шихті відходів вольфрамо-молібденових і феритово-вольфрамових сталей, що містять молібден. Присутність молібдену позитивно впливає на властивості сталей, підвищуючи ударну в'язкість на 15–20% та міцність на 5–8% без зміни теплостійкості.

Температури $\alpha \rightarrow \gamma$ -перетворення в молібденових сталях трошки нижчі, ніж у вольфрамових. Кількість карбідної фази в обох випадках приблизно однакова відсотково за масою, але менше у сталях з молібденом через його меншу густину.

Вплив хрому на швидкорізальні інструментальні сталі, як середньо- і високолеговані, є обов'язковим і виявляється у різноманітних аспектах. У

відпаленої швидкорізальної сталі хром присутній у фериті та утворює карбід $M_{23}C_6$, який повністю розчиняється при низьких температурах гартування. Це сприяє насиченню твердого розчину вуглецем і хромом без впливу на розмір зерна. З вмістом 3,5–4,0% хрому забезпечується необхідна твердість та прогартовуваність, оскільки він сприяє повному розчиненню карбіду M_6C у аустеніті.

Крім того, хром сприяє повнішому розчиненню карбіду $M_{23}C_6$ при низьких температурах гартування, що призводить до збагачення твердого розчину вуглецем і хромом, не впливаючи на розмір зерна. Такий вплив дозволяє підвищити загартовуваність і прогартовуваність швидкорізальних сталей.

Під час відпуску при температурах 450–525°C, хром частково виділяється з мартенситу, підсилюючи дисперсійне твердіння, і частково залишається в α -розчині, затримуючи знеміцнення при високих температурах. Отже, при вмісті 3–4% Cr вторинна твердість не значно збільшується.

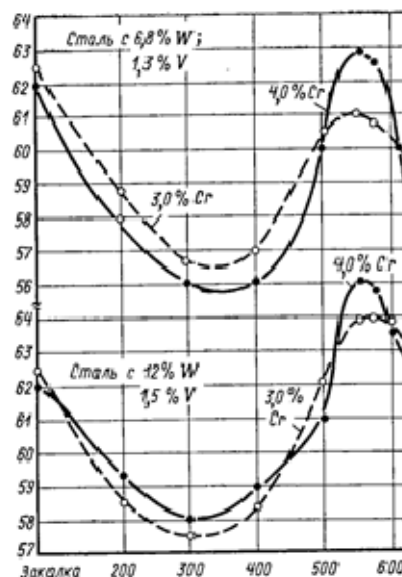


Рисунок 1.2 - Вплив хрому на твердість швидкорізальних сталей

Додавання хрому в кількості більше 4,2–4,5% є непридатним, оскільки хром при утворенні карбідів, що виділяються при відпусканні, сприяє їхній

коагуляції при більш низьких температурах, але це може зменшити теплостійкість. Хром також підсилює карбідну неоднорідність, і його вплив відзначається схожістю з впливом вольфраму. Таким чином, вміст хрому слід визначати в залежності від вмісту вольфраму. Наприклад, для сталі з 18% вольфраму і 0,7–1,0% ванадію, необхідна загартованість та прогартованість досягаються при вмісті хрому від 3,8% до 4,4%, тоді як для сталі з 12–13% вольфраму, оптимальний вміст хрому складає від 3,2% до 3,6%. Це обумовлено меншою кількістю карбідів М6С та полегшеним розчиненням хрому при нагріванні для гартування.

У випадку ванадію, при вмісті до 1,8–1,9%, характерному для деяких сталей, він утворює невелику кількість карбідів МС та переважно присутній у карбідах М23С6 і М6С. Під час нагрівання для гартування він розчиняється у γ -фазі, а під час відпуску виділяється у вигляді карбіду МС, що підвищує вторинну твердість і теплостійкість, але може знизити ударну в'язкість. Збільшення вмісту ванадію (до 4,0–5,0%) може покращити зносостійкість, але зменшити міцність, ударну в'язкість та оброблювальні властивості.

Кобальт, який є єдиним легувальним елементом швидкорізальних сталей, суттєво підвищує теплостійкість і вторинну твердість, забезпечуючи стійкість до температур до 645–650 °С і твердість до 67–70 HRC. Кобальтовмісні сталі мають вищу теплопровідність, що при однакових умовах різання знижує температуру різальної кромки інструментів на 30–70 °С.

Кобальт впливає на властивості сталі на декількох рівнях. По-перше, він підвищує стійкість твердого розчину до знеміцнення при нагріванні, що відбувається через підвищення температури початку $\alpha \rightarrow \gamma$ -перетворення. Збільшення концентрації кобальту до 5,0–6,0% сприяє цьому ефекту. Додатково, кобальт сповільнює коагуляцію карбідних частинок, що виділяються з мартенситу, що підвищує теплостійкість, але може зменшити міцність та в'язкість матеріалу.

У відношенні до технологічних характеристик, концентрація кобальту впливає на гарячу пластичність та ковкість сталей. Їх зниження спостерігається зі збільшенням вмісту кобальту. Також кобальт значно підвищує кількість залишкового аустеніту в загартованій сталі, що призводить до зниження твердості на HRC 1-2.

Кобальт відрізняється від інших легувальних елементів, таких як вольфрам, молібден, ванадій і хром, тим, що не утворює карбідів. Він присутній в α - і γ -фазах, а також в карбіді M_6C пропорційно його вмісту в сталі. Такий особливий вплив кобальту призводить до підвищення теплостійкості шляхом підвищення температур $\alpha \leftrightarrow \gamma$ -перетворення та сприяння повному виділенню вольфраму і молібдену з мартенситу під час відпуску.

У випадку молібдену, його додавання у концентрації близько 1% покращує в'язкість і міцність сталі, зокрема за умови утримання концентрації вольфраму на сталому рівні або при його зменшенні. Теплостійкість сталі залишається на одному рівні або трохи зростає, якщо молібден додається без зміни концентрації вольфраму. Однак при заміні вольфраму в співвідношенні 1:2 теплостійкість може трошки зменшитися.

Вплив вуглецю на властивості сталі теж важливий, особливо для сталей з підвищеним вмістом ванадію. Вміст вуглецю у межах 0,7–0,95% допомагає утворювати карбіди MC , забезпечуючи необхідну твердість без надто суттєвого збідніння аустеніту (мартенситу) та погіршення прогартовуваності.

1.3 Види сталей та умови їх експлуатації

Залежно від хімічного складу та основних характеристик, швидкорізальні сталі можна класифікувати як матеріали помірної теплостійкості або підвищеної теплостійкості. Якщо вміст ванадію не

перевищує 2%, ці сталі відносять до категорії матеріалів нормальної теплостійкості, таких як P18, P9, P6M5. Сталі з вищим вмістом ванадію та кобальтовмісні леговані елементи, які належать до категорії підвищеної теплостійкості (наприклад, P12Ф3, P6M5Ф3, P18K5Ф2, P9K5, P6M5K5, P9M4K8 і тощо), вирізняються покращеними властивостями в порівнянні зі сталями нормальної теплостійкості.

Високованадієві сталі підвищеної теплостійкості відзначаються підвищеною зносостійкістю завдяки вмісту високотвердих карбідів типу MC, у порівнянні зі сталями нормальної продуктивності. Кобальтовмісні сталі в цій групі мають підвищену вторинну твердість, теплостійкість і теплопровідність.

До категорії швидкорізальних сталей підвищеної продуктивності також належать дисперсійнотвердіючі сплави з інтерметалідним зміцненням. Їхні властивості, такі як висока теплостійкість та різальні властивості, забезпечуються високими температурами мартенситного перетворення і відпусканням інтерметалідів, які виявляють вищу стійкість до коагуляції при нагріванні, порівняно з карбідами. Один із таких сплавів, що набув широкого застосування, - це сплав B11M7K23 (ЭП831).

Швидкорізальні сталі, віднесені до карбідного (ледебуритного) класу, мають фазовий склад в відпаленому стані, представлений легованим феритом і карбідами M₆C, M₂₃C₆, MC, M₃C. Основним карбідом у таких сталях є карбід M₆C, який містить розчинений ванадій. У фериті розчинена значна кількість хрому, тоді як практично весь вольфрам (молібден) і ванадій містяться в карбідах.

Внаслідок різкого дефіциту вольфраму та інших легувальних добавок виникає проблема скорочення витрат на дорогі швидкорізальні сталі, що потребує вирішення на всіх етапах виробництва. Від металургійних процесів до утилізації відходів та їх раціонального використання. З 1970 року високовольфрамові сталі, такі як P18, почали замінювати більш економічними вольфрамо-молібденовими сталями, такими як P6M5 та P9.

Сталь Р9 застосовується для виготовлення чистових та напівчистових різальних інструментів простої форми, які не потребують значного обсягу шліфування. Вона призначена для обробки конструкційних матеріалів з міцністю до 900-1000 МПа, а також для виготовлення свердел методами пластичної деформації та деревообробних інструментів.

Сталь Р18 відзначається найвищими температурами гартування. Її переваги включають:

низьку чутливість до перегріву, що забезпечує стабільність властивостей (дрібне зерно зберігається при нагріванні в широкому температурному інтервалі: 127...129°C);

задовільну шліфованість (з вмістом ванадію на рівні 1...1,5%).

Високі температури гартування вище оптимальної можуть призводити до збільшення зерна, утворення сітки карбідів, і навіть оплавлення, а також появи евтектичної структурної складової.

Основним недоліком сталі є значна кількість надлишкових карбідів, особливо в прокаті великого профілю, що призводить до великої карбідної неоднорідності. Навіть у прокаті з діаметром менше 40-50 мм вона виявляє вищу міцність і в'язкість, проте поступається сталям з меншою кількістю вольфраму.

У зв'язку з цим сталь Р18 характеризується зниженою пластичністю, що робить ускладненим виготовлення інструментів методами пластичної деформації. Відносне подовження при 20 °C не перевищує 15% для прокату діаметром 50 мм і 17% для прокату діаметром 35 мм.

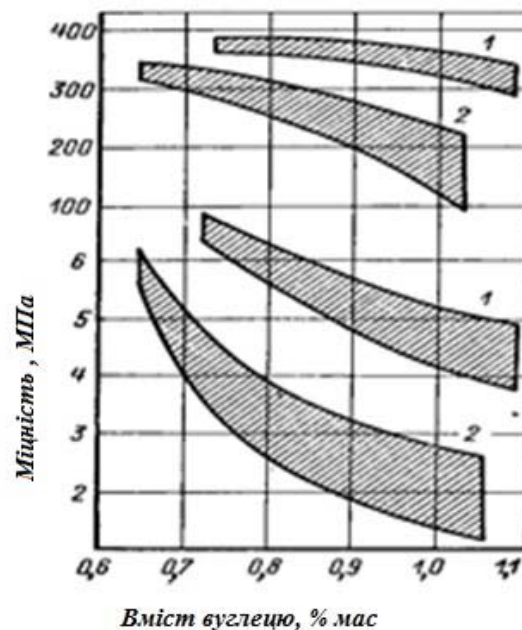
Незважаючи на меншу червоностійкість (620 °C) і вторинну твердість (HRC 63-65) у порівнянні з іншими сталями, сталі Р18 (в профілях до 25-35 мм) виявляються більш міцними (2800...3500 МПа) і мають вищу ударну в'язкість (25...30 Дж/см²).

Ця сталь призначена для виготовлення як чорнових, так і чистових різальних інструментів, таких як фрези, протяжки та мітчики, ідеально підходить для обробки конструкційних сталей з міцністю від 900 до 1000

МПа. Завдяки високому вмісту вольфраму її рекомендується використовувати для виготовлення інструментів високої точності, де використання інших марок сталі може призвести до небажаного перегріву різальної кромки під час шліфування і точіння.

Сталь Р6М5 є однією з найбільш поширених марок сталі. Вона володіє високою міцністю, що дозволяє їй ефективно обробляти тверді матеріали. Використання цієї сталі у шліфувальних та свердильних пристроях значно перевершує швидкість, досягнуту застосуванням звичайних сталей.

Вплив підвищеного вмісту вуглецю в сталях з молібденом більш сприятливий, ніж у вольфрамових (рис.1.3).



1- сталь типу Р6М5; 2- сталь типу Р9

Рисунок 1.3- Вплив вуглецю на міцність та в'язкість вольфрамових та вольфрамо-молібденових сталей

Є помітні відмінності впливу вольфраму та молібдену, особливо при відпуску сталей. Зокрема, при відпуску від 250 до 300°C в'язкість сталей із молібденом збільшується значно більше порівняно зі сталями із вольфрамом. Хоча володіння в'язкістю зменшується при дисперсійному твердінні, у сталях із молібденом воно залишається на вищому рівні, ніж у вольфрамових

сталях. Це пояснюється тим, що молібден, як горофільний елемент, заважає утворенню карбідних частинок вздовж границь зерен.

Теплостійкість сталі Р6М5 оцінюється приблизно на рівні 620°C. Розміри карбідних частин у цій сталі менше, ніж у сталі Р18. Внаслідок цього, міцність сталі Р6М5 після однакової деформації перевищує міцність сталі Р18 на 10-15%, а в'язкість - на 50-60%. Це переважання залишається і в великих секціях.

Зі збільшенням температури до 500-600°C міцність сталі Р6М5 зменшується істотніше, ніж у сталі Р18, тоді як в'язкість зростає значно швидше. Пластичність сталі Р6М5 залишається на вищому рівні при температурах деформації, в порівнянні зі сталлю Р18. Твердість після відпалу менше, що покращує оброблюваність різанням. Її шліфування є ефективним і трохи менше, ніж у сталі Р18.

Сталь Р6М5 в рівноважному стані відноситься до ледебуритного мартенситного класу, а після нормалізації - до мартенситного класу. Її теплостійкість становить 620°C. При збільшенні температури до 500-600°C, міцність сталі Р6М5 падає більш інтенсивно, в той час як в'язкість зростає. Після відпалу твердість зменшується, що поліпшує оброблюваність при різанні.

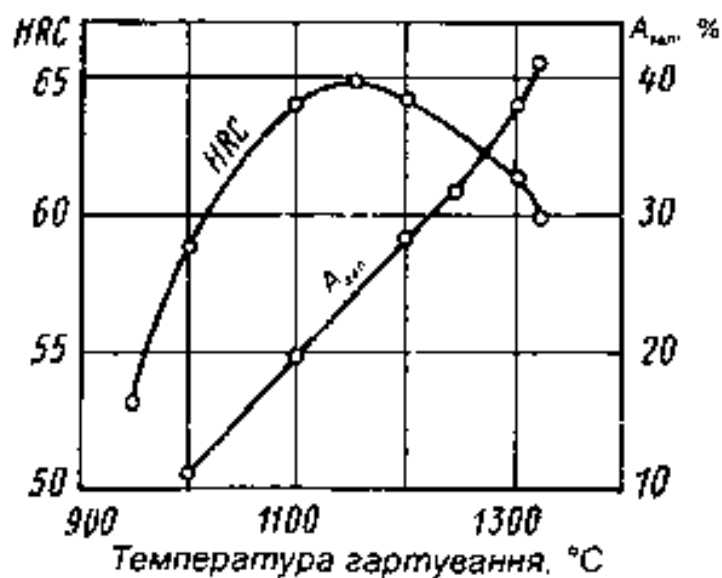
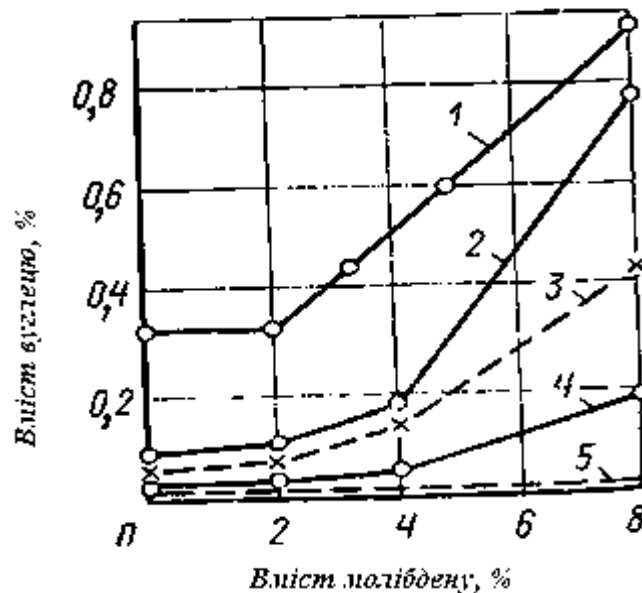


Рисунок 1.9 - Твердість та кількість залишкового аустеніту в швидкорізальній сталі Р6М5 в залежності від температури гартування

У сталі Р6М5 з 5% молібдену залишаються деякі недоліки, внесені молібденом, хоча в меншій мірі. Вона виявляє чутливість до знеуглецювання. Крім того, в окремих плавках цієї сталі, при гартуванні при оптимальних температурах, може виникати більше крупне зерно та зменшуватися міцність. Також, порівняно зі сталлю Р18, у Р6М5 спостерігається менша карбідна неоднорідність.



1- в електропечі; 2- у полумений печі; 3- у нерозкислений ванні BaCl_2 ; 4-у ванні BaCl_2 , яка розкислена 3% бури; 5- у ванні BaCl_2 , яка розкислена 2% MgF_2 (1150°C, 15 хв.)

Рисунок 1.4 - Вплив молібдену на знеуглецювання швидкорізальної сталі Р6М5

Крім того, в сталях окремих плавках при гартуванні з температур, які вважаються оптимальними, можна спостерігати більше крупне зерно та

зменшену міцність (див. рисунок 1.11). Це явище виявляється передусім при високому вмісті вуглецю, близькому до верхньої границі для даного класу сталей, оскільки вуглець знижує температуру гартування. Для забезпечення більшої стабільності властивостей рекомендується обмежувати вміст вуглецю в цих сталях у більш вузьких межах: 0,7–0,8%. Густина відпаленої сталі Р6М5 становить 7,00 кг/м³.

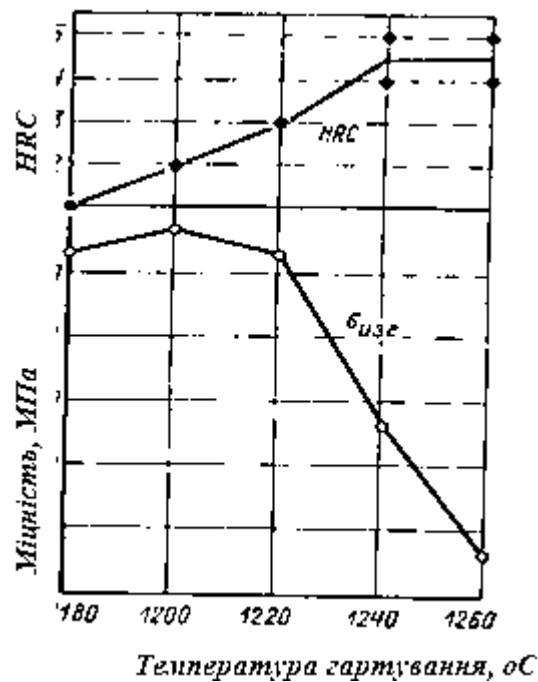


Рисунок 1.5 - Твердість та міцність сталі Р6М5 в залежності від температури гартування (відпуск при 560°C, 3 рази)

Сталь Р6М5К5 є основною маркою високопродуктивної швидкорізальної сталі, використовуваною для виготовлення різноманітних чорнових і напівчистових інструментів, таких як фрези, зенкери і інші. Ці інструменти призначені для обробки вуглецевих і легованих конструкційних сталей на високих швидкостях різання, а також нержавіючих сталей і жароміцних сплавів. Рекомендується використовувати цю сталь як економічну альтернативу сталі Р18К5Ф та як матеріал із вищими (на 25-30%) різальними властивостями порівняно зі сталлю Р9К5.

Технологія термічної обробки є необхідною складовою процесу виготовлення металевих виробів, оскільки вона визначає структуру, механічні та експлуатаційні властивості виробу. Термічна обробка швидкорізальних сталей включає такі етапи:

Режими кування та ізотермічного відпалу: температурний інтервал кування становить 1160-850°C.

Охолодження після кування у колодязях при 750-800°C.

Відпал при температурі 840-860°C, охолодження із піччю зі швидкістю 40°C/год до температури 720-730°C, ізотермічна витримка не менше 4 годин, охолодження із піччю зі швидкістю 50°C/год до 600°C, потім на повітрі.

Кінцева термічна обробка: перший підігрів до температур 450°C для запобігання тріщинам, другий підігрів до температури 830°C для завершення фазових перетворень та вирівнювання температури по перерізу виробу.

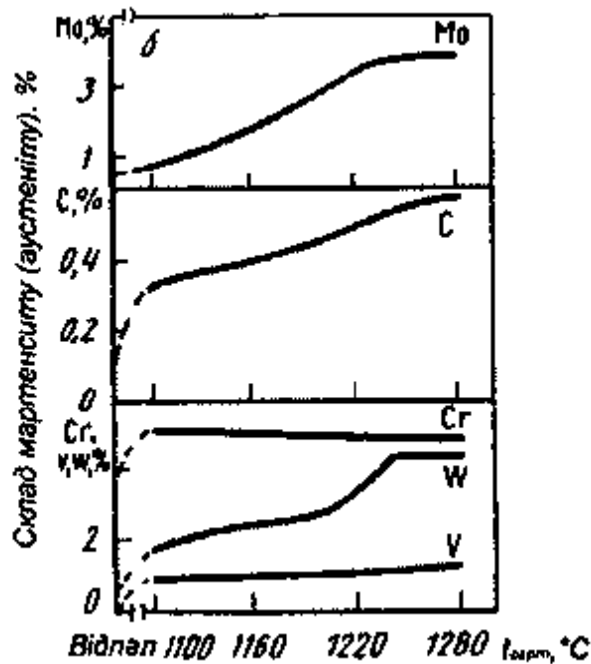
Температура гартування становить 1200-1230°C, що вище A1 на 400-450°C, щоб розчинити карбіди вольфраму та молібдену і отримати високолегований аустеніт та мартенсит. Гартування повинно забезпечити повне розчинення карбідів та уникнення окислення, знеуглецювання та росту зерна.

Після завершення гартування проводиться охолодження в маслі із швидкістю 50°C/с, що приводить до бездифузійного перетворення аустеніту в мартенсит. При кімнатній температурі утворюється структура Мартенситу (М) разом із додатковими фазами, такими як Азотид (Азал) у кількості 25%, а також карбіди (К).

При повільному охолодженні з високих температур, наприклад, на повітрі, може відбутися виділення карбідів. Це може збіднювати твердий розчин легуючих елементів і погіршувати різальні властивості. Після гартування твердість сталі складає 60-65 HRC, і це не є максимальною твердістю, оскільки в структурі присутній залишковий аустеніт (25-30%) разом із високолегованим мартенситом та нерозчиненими надлишковими

карбідами. Вища температура гартування веде до більшого залишкового аустеніту та нижчих температур мартенситних точок (M_n та M_K).

Після гартування застосовується трьохразовий відпуск при 550°C протягом 1 години. Цей процес спрямований на зменшення кількості м'якої фази Азал та стимулювання виокремлення дисперсних карбідів в структурі.



Рисунку 1.6 - Вплив температури аустенітизації швидкорізальної сталі на склад твердого розчину після гартування

Під час нагрівання та ізотермічної витримки утворюються карбіди цементитного типу, а потім спеціальні карбіди, що призводить до відпуску мартенситу та збіднення аустеніту на вуглець та легувальні елементи. З урахуванням того, що температура перетворення Азал на мартенсит поступово підвищується, при охолодженні нижче 200°C відбувається перетворення Азал в мартенсит. Ці процеси відбуваються при кожному відпусканні, і тому кількість Азал зменшується до 5%, а твердість, відповідно, збільшується, настання вторинного гартування. Під час витримки при відпусканні із пересичених α - та γ -твердих розчинів виділяються спеціальні високодисперсні карбіди W, Mo, V типу MC , M_2C , M_6C .

Аустеніт, збіднений на вуглець та легувальні елементи, стає менш стійким, і при охолодженні нижче точки M_p ($\sim 140^\circ\text{C}$) відбувається мартенситне перетворення. Однак одноразове відпускання не забезпечує повного перетворення залишкового аустеніту, тому застосовується трьохразове відпускання з витримкою по одній годині та охолодженням на повітрі. Це призводить до зниження кількості залишкового аустеніту до 3-5%, а твердості сталі досягається на рівні 63-65 HRC. Висока твердість сталі після відпуску пояснюється збереженням високолегованої мартенситної структури, дисперсійним твердінням та перетворенням аустеніту в мартенсит.

Не менш важливим етапом хіміко-термічного оброблення є низькотемпературне ціанування різального інструменту, виготовленого з швидкорізальної сталі. Мета цього процесу - підвищення стійкості інструмента, виготовленого з швидкорізальної сталі. Під час ціанування готовий виріб і термічно оброблений інструмент нагрівають у розтоплених ціанистих солях при температурі, близькій до температури відпуску швидкорізальної сталі, тобто при $550-560^\circ\text{C}$, протягом 15-30 хвилин. Цей процес призводить до утворення тонкого (0,02-0,04 мм) дифузійного шару з високою концентрацією азоту при невеликому насиченні вуглецем на поверхні інструменту.

1.3. Тверді сплави

Тверді сплави виготовляють за допомогою порошкової металургії і складаються з основних компонентів: карбіду вольфраму (WC), карбіду титану (TiC) і карбіду танталу (TaC), при цьому металевим зв'язуючим елементом слугує кобальт, нікель або молібден. Температурна стійкість різних марок твердих сплавів становить $800-1100^\circ\text{C}$, що дозволяє суттєво

підвищити швидкість різання (до 150-200 м/хв). Однак недоліком є відносно низька міцність на згин ($\sigma_{zg}=0,9-1,6$ ГПа), порівняно з швидкорізальною сталлю ($\sigma_{zg}=3-3,5$ ГПа). Міцність на стиск складає 4-6 ГПа, а твердість – 90-96 HRA.

Тверді сплави класифікуються на чотири групи в залежності від хімічного складу: однокарбідні, двокарбідні, тріокарбідні і безвольфрамові. Однокарбідні тверді сплави (ВК) містять карбід вольфраму і кобальт. Прикладами є марки ВК3, ВК4, ВК6, ВК8, ВК10, ВК15. Цифра вказує на відсотковий вміст кобальту, а решта – карбід вольфраму. Зі збільшенням кількості кобальту зменшується твердість сплаву, а пластичність зростає. Так, для чорнової обробки застосовують марки ВК8 та ВК10, а для чистової – ВК3 та ВК4. Фізико-механічні властивості твердих сплавів залежать від розміру зерен, які можуть бути грубозернистими, нормальними, дрібозернистими або дуже дрібозернистими (з розміром зерен до 0,5 мкм), і позначаються відповідно, наприклад, ВК6В, ВК6 ВК6-М, ВК6-ОМ. Сплав ВК6-ОМ додатково легований до 2% TaC.

Однокарбідні тверді сплави виявили велику ефективність при обробці чавунів. Для виробництва інструменту, що використовується при ударних навантаженнях (наприклад, обдирочні операції, переривисте точіння), використовують грубозернисті тверді сплави, такі як ВК6В. Згідно з міжнародними стандартами ISO, однокарбідні тверді сплави в маркуванні мають букву К (K01, K05, K10, K20, K30, K40) та позначаються червоним кільцем. Важливо відзначити, що маркування сплавів ведеться не за хімічним складом, а за їхніми механічними (експлуатаційними) властивостями, тому деякі однокарбідні тверді сплави можуть не обов'язково містити букву К у марці. У деяких випадках також можна зустріти позначення NW.

Двокарбідні тверді сплави (ТК) містять карбід вольфраму (основний компонент), карбід титану і кобальт. Популярними марками є Т30К4, Т5К10, Т15К6 (15% TiC, 5% Co, 80% WC). При однаковому вмісті кобальту двокарбідні тверді сплави мають вищу твердість і хрупкість порівняно з

однокарбідними, тому їх використовують для напівчистої і чистої обробки сталі. Згідно з стандартами ISO, маркування починається з букви Р (Р01, Р10, Р15, Р20, Р30, Р40) і фарбується в синьому кільці; в деякій літературі їх також позначають як НТ.

Трьохкарбідні тверді сплави (ТТК) складаються з карбіду вольфраму, карбіду титану, карбіду танталу і металічного кобальту (в якості зв'язуючого компонента). Марки ТТ7К12 і ТТ20К4 відзначаються високою зносостійкістю і експлуатаційною міцністю ($\sigma_b = 1,3-1,6$ МПа), вони добре витримують ударні навантаження і використовуються при струганні та фрезеруванні. Згідно з стандартами ISO, маркування починається з букви М (М10, М20, М30, М40) або НМ, а колір - жовтий.

Безвольфрамові тверді сплави створені на основі карбіду і карбонітриду титану, карбіду хрому і тугоплавких зв'язків, таких як кобальт і нікель. Сплави, такі як КНТ16, ТН20, ТН30, ТМ1, ТМ3, КХН30, застосовуються для напівчистої і чистої обробки конструкційних низьколегованих сталей і чавуні.

Розробка цих матеріалів для інструментів зумовлена відсутністю в Україні необхідної сировинної бази, зокрема кобальту. Застосування нікелю, який є в 2-3 рази більш доступним, в результаті призвело до зниження собівартості твердих сплавів на нікелевій основі на 10-20%, порівняно зі сплавами ВК.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Хімічний склад та технологія отримання сплаву

В даному дипломному проєкті використовується сталь типу РЗАМЗФ2 додатково легована ніобієм в першому варіанті кількістю 1,26 ... 1,28 % та титаном 0,2%, в другому варіанті титаном в кількості 1,55%. Ці елементи використовується завдяки здатності утворювати спеціальні карбіди, таким чином сталь носить марку РЗАМЗФ2Б1Т Хімічний склад наведений в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Хімічний склад сталі, що досліджується

Марка сталі	C	W	Mo	V	Cr	Nb	Ti	Fe
РЗАМЗФ2Б1Т (склад №1)	1,18	3,05	2,82	1,96	4,10	1,26	0,24	Ост.
РЗАМЗФ2Б1Т1 (склад №2)	1,41	3,05	2,82	1,94	4,05	1,28	1,55	Ост.

Сплави виплавляли у відкритій 50 кг індукційній печі з використанням шихтових матеріалів металів промислової чистоти. Розкислення проводили кремнієм та марганцем. Вказані елементи вводили за 5...7 хвилин до розливки. Температура розливки знаходилась в межах 1520...1560 °С.

Зразки для дослідження евтектичних карбідів в литому стані вирізали із осової зони поперечних темплетів, відібраних із середніх за висотою частини виливків масою 20 кг. Попередньо виливки піддавали відпалу при температурі 850°С , 2 години, а після цього проводилась основнотермічна

обробка, що включає в себе гартування 1210°C та трикратному відпуску при температурі 560°C по 1 годині.

2.2 Методика виготовлення зразків для дослідження

Мікрошліф - це зразок, поверхня якого підготовлена для мікроаналізу.

Правильне виготовлення шліфів має важливе значення, оскільки від цього залежить правильність тлумачення мікроструктур. Найбільш зручними є прості форми зразків, такі як циліндр, куб. Зразки виготовляють зі скошеними кутами на поверхні мікрошліфа, щоб під час полірування не рвати сукно, розміри зразків: діаметр 10-20 мм або сторона квадрата 10-20 мм при висоті 10-15 мм. Зразки вирізають як на токарному, фрезерувальному або стругальному верстатах. З металів і сплавів, що мають високу твердість із складною оброблюваністю, зразки вирізають на тих же верстатах з застосуванням нормального різального інструменту, виготовленого із твердих або надтвердих сплавів або за допомогою тонкого наждачного круга, а також електроіскрового різання. З крихких матеріалів зразки відбирають з використанням алмазного інструменту. При механічній обробці повинні бути вжиті заходи, що запобігають перегріванню зразка, якщо це пов'язано зі зміною структури. Виготовлення мікрошліфа зводиться до послідовного виконання наступних операцій:

- вирівнювання поверхні зрізу або зламу грубим шліфуванням;
- тонке шліфування;
- полірування.

Шліфування виконується на абразивних кругах. При шліфуванні на абразивних кругах слід застосовувати інтенсивне охолодження. Шліфування закінчують після повного вирівнювання всієї поверхні зрізу (шліфа). Шліфування виконується на 4-5 номерах шліфувального паперу, який обирається в залежності від властивостей оброблюваного матеріалу.

Поліруванням видаляють дрібні дефекти поверхні, риски, що залишилися після шліфування. Полірування виконується на спеціальному полірувальному верстаті, диск якого обтягнутий фетром, сукном або оксамитом. Диск верстата змочують полірувальною рідиною, що складається з води, в якій знаходяться частинки полірувального порошку: окису алюмінію або оксиду хрому.

Щоб виявити структуру, слід створити рельєф або пофарбувати в різні кольори структурні складові, що досягається зазвичай хімічним травленням. При травленні кислота в першу чергу впливає на межі фаз і зерен, як місця, що мають найбільш дефектну будову і які на протравленому шліфі стануть заглибленнями. Світло, яке падає буде розсіюватися, і в поле зору мікроскопу вони будуть здаватися темними, а тіло зерна - світлим. Зразки сплавів для зазначеного випробування (мікрошліфи), щавили хімічно в реактиві складу:

92 мл HCl + 5 мл H_2SO_4 + 3мл HNO_3 + 5 г CuSO_4 + 50 мл $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ або електролітично в реактиві 9,8 г H_2SO_4 + 16 г NaCl + 5,4 г FeSO_4 + 100 H_2O при густині струму 0,1 А/см²

2.3 Дослідження мікроструктури

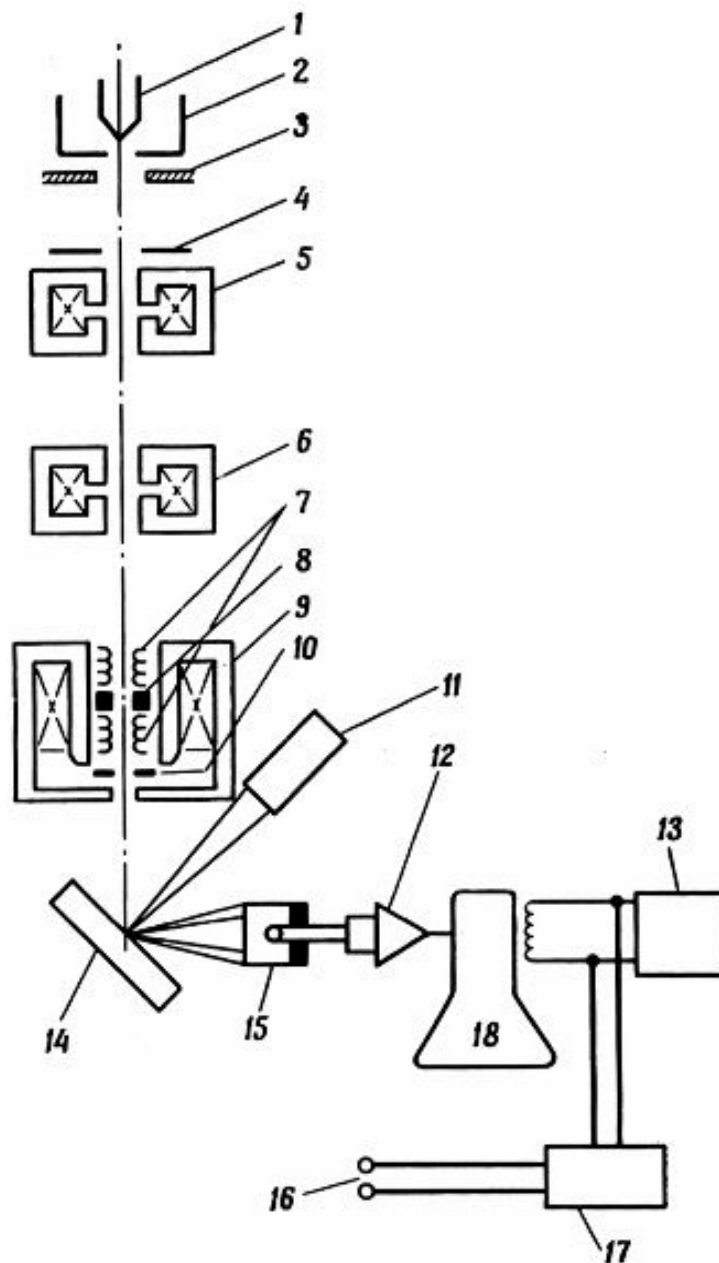
2.3.1 Принцип роботи РЕМ

Растровий електронний мікроскоп (РЕМ) призначається для дослідження і аналізу мікроструктурних характеристик сплавів. Він дозволяє одержувати зображення мікрорельєфу поверхні зразків з високою роздільною здатністю і значною глибиною різкості, а також проводити аналіз хімічного складу дослідженої ділянки зразка з використанням рентгенівського мікроаналізатора. Електроннооптичну схему РЕМа зображено на рис. 2.1.

Електрони з вольфрамового катода, розжареного до 2430°С, прискорюються в електричному полі, створеному різницею потенціалів (до

50 кВ) між катодом 1 і анодом 3. За допомогою конденсорних лінз 5 і 6 та об'єктивної лінзи 9 пучок електронів формується у вузький зонд розміром 0,1-3 мкм. Змінюючи струм у лінзах, здійснюють регулювання інтенсивності та фокусування зонда на поверхні зразка 14 за рахунок взаємодії магнітного поля лінз з пучком електронів.

Вузький сфокусований пучок електронів може бути нерухомим, або розгортатися в растр за допомогою генератора сканування 13 та відхиляючої системи 7. Синхронно із скануванням зонда на екрані електроннопроменевої трубки (ЕПТ) 18 формується зображення. При взаємодії первинних електронів із зразком відбуваються такі процеси: відбиття електронів внаслідок пружного розсіяння, поглинання електронів, поява вторинних електронів та утворення характеристичного рентгенівського випромінювання. Відбиті електрони – це пружнорозсіяні електрони з такою ж довжиною хвилі, як і у первинних, бо зміна траєкторії їх розповсюдження у зразку відбувається із незначною втратою енергії. Слабозв'язані електрони, після непружної взаємодії з первинними електронами, емітують із зовнішніх оболонок атомів зразка, тому їх називають вторинними електронами. При взаємодії первинних електронів із електронами внутрішніх оболонок атомів зразка також виникає характеристичне рентгенівське випромінювання. Енергія рентгенівських квантів електронів, а саме довжина хвилі, є характеристикою хімічного елемента. Вторинна електронна емісія виникає поблизу місця падіння зонда від усіх точок складного рельєфу. За допомогою детектора 15, встановленого біля зразка, сигнали від електронів, що виходять з поверхні зразка, перетворюються в електричні імпульси. Після проходження через підсилювач 12, вони передаються в модулятор електроннопроменевої трубки 18. Сканування електронного зонда по поверхні об'єкта і променя на екрані ЕПТ здійснюється синхронно від генератора сканування 13 і тому кожній точці на зразку відповідає точка на екрані ЕПТ.



1 – катод; 2 – фокусуючий електрод; 3 – анод; 4 – діафрагма; 5,6 – конденсорні лінзи; 7 – котушка подвійного відхилення; 8 – стигматор; 9 – об’єктивна лінза; 10 – діафрагма для обмеження розміру пучка; 11 – детектор рентгенівського випромінювання; 12 – підсилювач; 13 – генератор сканування; 14 – зразок; 15 – детектор вторинних електронів; 16 – клеми для підключення відхиляючої системи; 17 – блок регулювання збільшенням; 18 – ЕПТ

Рисунок 2.1 – Схема електронної оптики растрового електронного мікроскопа з мікроаналізатором

При переміщенні зонда, у відповідності зі зміною локальних властивостей зразка (частинки інших фаз, рельєф поверхні і т. інше), змінюється кількість розсіяних електронів і відповідно змінюється яскравість точки на екрані ЕПТ, тобто виникає контраст і створюється зображення поверхні зразка.

В РЕМі використовують два види контрасту: контраст від хімічного складу, що залежить від атомного номеру елементів, і топографічний контраст, який визначається рельєфом поверхні зразка.

Контраст від хімічного складу виникає тому, що ділянки з великим атомним номером будуть більш яскравішими, бо кількість розсіяних електронів пропорційна атомному номеру елемента. Топографічний контраст, на відміну від попереднього, пов'язаний з розташуванням рельєфної поверхні під різними кутами до напрямку падіння зонда. Більша кількість електронів буде реєструватися від тих ділянок рельєфу, що мають більший кут між нормаллю до поверхні ділянки (в точці падіння первинного пучка) і його напрямком.

Враження об'ємності структури поверхні пояснюється великою глибиною зображення РЕМа. Цей вид контрасту використовується при вивченні зламів.

При реєстрації струму поглинання контраст зображення буде протилежним контрасту у відбитих (розсіяних) та вторинних електронах.

Збільшення зображення, одержаного в РЕМі, дорівнює відношенню лінійних розмірів растра на екрані ЕПТ і растра на зразку. Розмір растра на об'єкті можна регулювати зміною сили струму в растрових котушках. Загальне збільшення коливається в широкому діапазоні від 50 до 200 тис. разів і значно перебиває діапазон збільшення світлового мікроскопа.

2.3.2 Метод РСМА

Рентгеноспектральний аналіз призначений для визначення хімічного складу зразка, як в мікро- так і макрооб'ємі (якщо в мікрооб'ємі, то кажуть про рентгеноспектральний мікроаналіз (РСМА)). Використовується для визначення розподілу хімічних елементів в поверхневому шарі зразка та в вибраній точці. Чутливість методу (мінімальна кількість елемента, яка може бути визначена) складає від 0,1 до 10-6% (масових).

Із формули Вульфа-Брега для визначення довжини хвилі від зразка необхідно мати кристал-аналізатор з великою відбивальною здатністю та відомою d_{HKL} .

Всі серії в рентгенівському характеристичному випромінюванні від зразка збуджуються одночасно і не накладаються одна на одну. Існує певна залежність між інтенсивністю ліній в кожній серії. Так для К-серії існує залежність: $I_{\alpha 1} : I_{\alpha 2} : I_{\beta} = 100 : 50 : 10$. Для інших серій залежності будуть відрізнятися. Визначення хімічного елемента можливо проводити незалежно від того, який хімічний зв'язок між атомами цього елемента. Тобто, незалежно від того, чи знаходиться цей хімічний елемент в карбідах, боридах, інтерметалідах чи в твердому розчині. Переваги рентгеноспектрального методу – це більш висока чутливість виявлення елементів, точність та неруйнівний метод в порівнянні з хімічним аналізом.

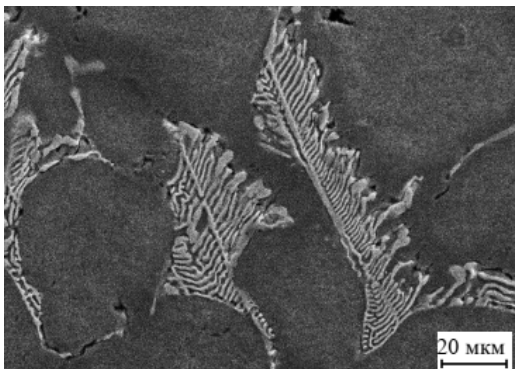
Для реєстрації λ від зразка використовують мікроаналізатор. До аналізатора входять кристал-аналізатор та лічильник. Кристал - це монокристал з відомою d_{HKL} , кристалічною площиною, що знаходиться в площині зрізу монокристала. Для них використовують кварц, кремній, германій, аквамарин та інші. Їх d_{HKL} коливаються в межах від 4 до 10 Å. Для якісного проведення аналізу необхідно мати декілька кристал - аналізаторів. Така необхідність пов'язана з задачею визначення хімічних елементів в широкому діапазоні.

Рентгеноспектральний мікроаналіз проводився на растровому електронному мікроскопі РЭМ-106И за наступних умов: прискорююча напруга 20 kV, струм зонду 20 нА. Дослідження складу карбідів проводили за точками, реєструючи інтенсивність характеристичного випромінювання K α - ліній титану, ванадію, хрому, заліза і L α ліній ніобію, молібдену, вольфраму, заздалегідь вибравши карбіди по зображенню їх в тоні поглинених електронів. В якості еталонів використали чисті елементи. Оскільки вуглець не вимірювався, то він прораховувався як доповнення до 100% суми k - відносних інтенсивностей вимірюваних елементів. Остаточний склад карбідів встановлювали нормуванням концентрацій вимірюваних елементів на передбачуваний тип карбіду. Оскільки в карбідах знаходяться важкі елементи, то погрішність при їх визначенні не перевищувала $\pm 0,01$ %.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Вплив способу виробництва на зносостійкість швидкорізальних сталей

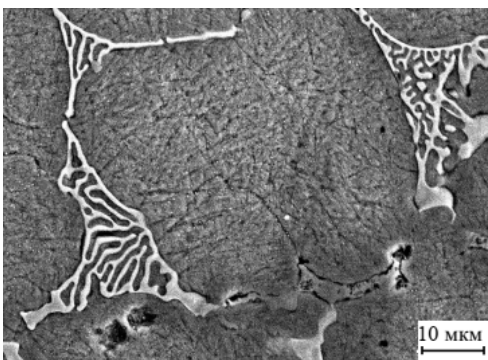
Швидкорізальні сталі належать до матеріалів ледебуритного класу, тому відмінною ознакою їхньої структури після лиття є яскраво виражена карбідна неоднорідність, зумовлена наявністю сітки евтектичних карбідів на кордонах зерен твердого розчину. виражена карбідна неоднорідність, зумовлена присутністю сітки евтектичних карбідів на кордонах зерен твердого розчину (рис 3.1, а, б). Руйнування сітки шляхом її фрагментації на окремі карбіди відбувається під час гарячого пластичного деформування злитків.



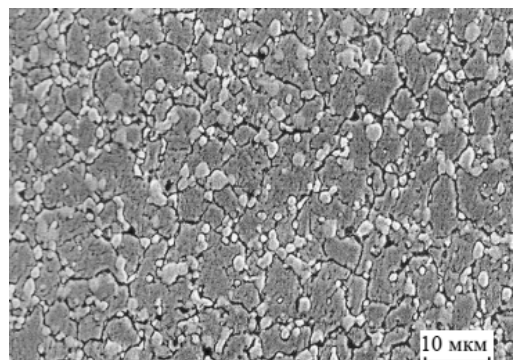
а



б



в



г

а, б -після лиття; в, г -після повної термічної обробки

Рисунок 3.1 - Структура литої і деформованої швидкорізальних сталей

Причому для повного усунення сітки необхідне 30...40-кратне зменшення поперечного перерізу злитка, що призводить до рівномірного розподілу частинок карбідів евтектичного походження у матриці сталі. Ці особливості структури литої та деформованої швидкорізальної сталі зберігаються після повної термічної обробки (рис. 3.1, в, г) і визначають кінцевий рівень її механічних властивостей.

Механічні випробування литих і деформованих швидкорізальних сталей Р6М5 і Р6М5К5 після повної термічної обробки за стандартними для цих сталей режимами показали, що найбільш структурно чутливими властивостями є ударна в'язкість і зносостійкість, показники яких істотно відрізняються для литого і деформованого металу (табл. 3.1).

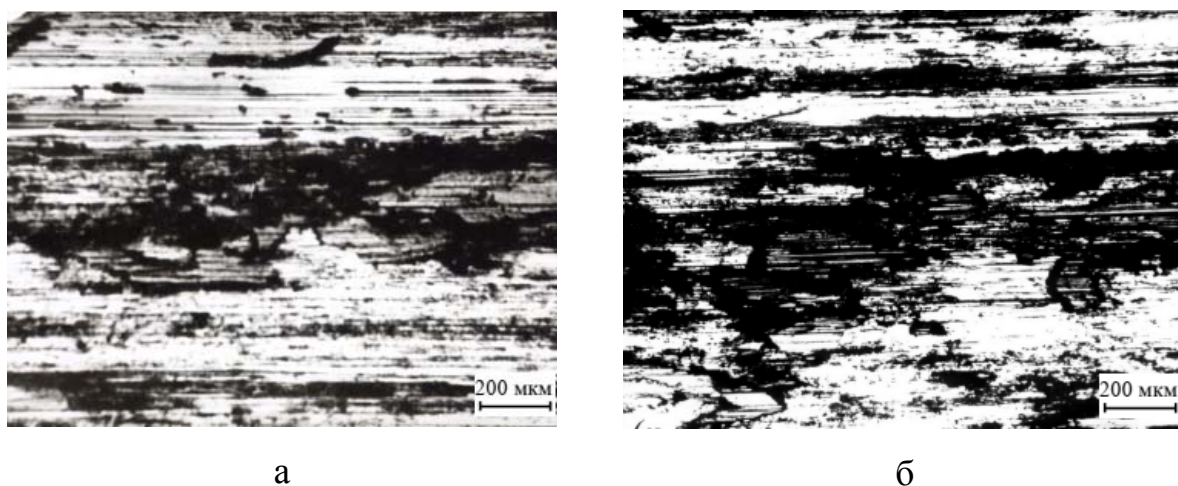
З табличних даних видно, що литі швидкорізальні сталі обох марок - Р6М5 і Р6М5К5 значно перевершують деформовані сталі аналогічного складу за зносостійкістю. Як показали дослідження зношених поверхонь експериментальних зразків, вища зносостійкість литих швидкорізальних сталей пояснюється, насамперед, наявністю в їхній структурі каркаса твердих евтектичних карбідів, які в умовах окисного й абразивного зношування ефективніше, ніж поодинокі структурно відокремлені карбідні частинки в прокаті, оберігають відносно м'яку матрицю сталі.

Таблиця 3.1 - Властивості литих і деформованих швидкорізальних сталей Р6М5 і Р6М5К5 після повної термічної обробки

Характеристика	Р6М5		Р6М5К5	
	Лита	Деформівна	Лита	Деформівна
Швидкість зношування, мг/год	70/79	93	67	84
КСУ, МДж\см ²	0,05/0,11	0,38	0,1	0,26
HRC	64/63	63	65,5	65

HRC (теплостійкість)	58/58	57,5	61	60
-------------------------	-------	------	----	----

Як наслідок, для литого металу характерна менша глибина слідів абразивного впливу контртіла і, що ще важливіше, значно менша площа ділянок руйнування оксидних плівок на зношених поверхнях експериментальних зразків (рис.3.2), які, як відомо, уповільнюють швидкість стирання під час абразивного зношування. Причому, як це видно на прикладі сталі Р6М5, відливої різними способами (див. табл. 3.1), за умови незмінного фазового складу, чимбільш розвинена сітка евтектичних карбідів, тим вища зносостійкість литого матеріалу.



а

б

а -лита; б - деформівна

Рисунок 3.2 – Зношення поверхні сталі Р6М5К5

З іншого боку, незважаючи на те, що литі й деформовані сталі мають загальні, якісно схожі механізми руйнування з переважанням міжзеренного крихкого після загартування і внутрішньозернистого після відпуску, кількісні показники ударної в'язкості руйнування в

обох випадках істотно відрізняються (табл. 3.1). За даними фрактографічного аналізу, більш менші значення ударної в'язкості литого металу зумовлені тим, що саме в місцях скупчень евтектичних карбідів на кордонах зерен твердого розчину легше відбувається

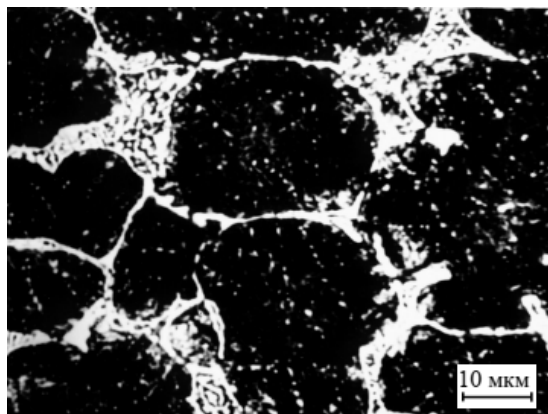
зародженнямагістральної тріщини як у литому, так і в термообробленому стані. Цей факт необхідно суворо враховувати, особливо в разі експлуатації литого інструменту в умовах підвищених динамічних навантажень, оскільки при даній схемі навантаження інструментів вельмиймовірно мікрОВифарбовування і сколювання крихкої карбідної фази, що в кінцевому підсумку може інтенсифікувати процес зношування інструменту. З цього погляду бажано дотримуватися певного компромісу, що полягає в цілеспрямованому формуванні первинної структури сталі та її властивостей з урахуванням конкретних умов експлуатації даного литого інструменту.

Твердість термооброблених литих і деформованих сталей Р6М5 і Р6М5К5 по суті не відрізняється. Однак за теплостійкістю литі швидкорізальні сталі мають певну, хоча й слабо виражену, перевагу над деформованими сталями (табл. 3.1). Це також може бути пояснено специфікою литого металу, в якому більшою мірою, ніж у деформованому при гарячій пластичній обробці, успадковуються особливості первинної структури. Завдяки більш високій швидкості охолодження невеликої інструментальної заготовки, маса якої порівняно з металургійним злитком порівнянні з металургійним злитком у сотні разів менша, вміст легуючих елементів у твердому розчині литого металу, як правило, спочатку вищий.

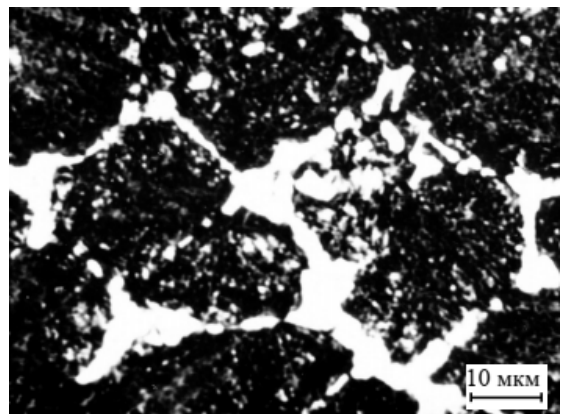
Як буде показано нижче, вища теплостійкість литої швидкорізальної сталі є одним із чинників, що сприяють розширенню області усталеного зношування литого інструменту.

Оскільки термічна обробка відіграє важливу роль у формуванні надійності та експлуатаційної довговічності різального інструменту, аналізували вплив температур аустенітизації в діапазоні 1180...1270 °С на характер зміни структури та властивостей у литої та катаної швидкорізальних сталей на прикладі найпоширенішої марки Р6М5. Виконані дослідження показали, що литі швидкорізальні сталі порівняно з катаними володіють більш стабільними показниками ударної в'язкості та

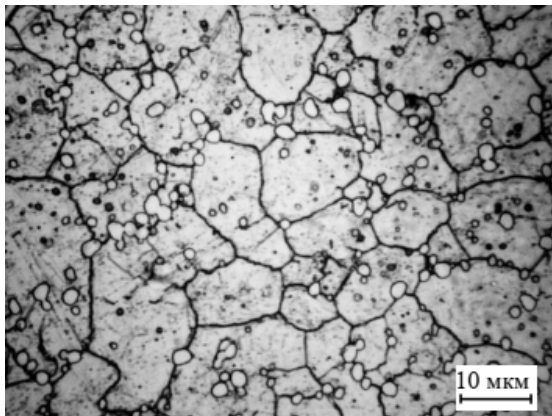
зносостійкості після загартування з нагріванням у широкому інтервалі температур аустенітизації. Це пояснюється тим, що для литої сталі підвищення температури аустенітизації викликає, з одного боку, огрубіння структури матриці, більш слабе зарахунок бар'єрного ефекту карбідної сітки, а з іншого - сприяє руйнуванню самої сітки за рахунок коагуляції та відокремлення евтектичних карбідів (рис. 3.3, а, б), що позитивно позначається на ударній в'язкості та зносостійкості.



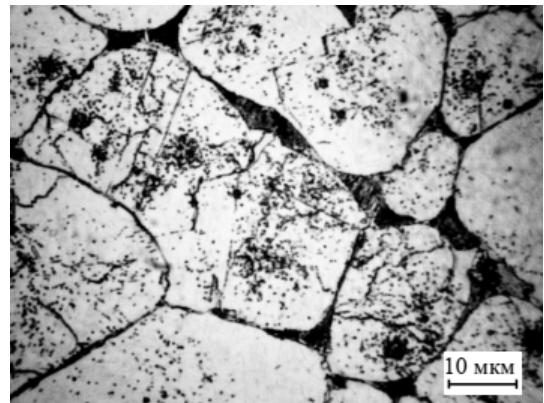
а



б



в



г

Рисунок 3.3 - Структура литої (а, б) і деформованої (в, г) швидкорізальних сталей типу Р6М5 після гартування від 1180 °С (а, в) і 1270 °С (б, г)

Більш інтенсивне зростання аустенітного зерна й огрубіння мартенситу і, нарешті, вторинне виділення грубої карбідної сітки за підвищеної

температура аустенітизації (рис. 3.3 в, г) викликають у катаній сталі катастрофічне падіння ударної в'язкості.

Однак зносостійкість деформованої сталі залишається нижчою порівняно з литою сталлю після загартування від температур у всьому дослідженому діапазоні.

У сукупності ці дані підтверджують той факт, що, завдяки специфічним особливостям структури, литий інструмент має принципово меншу схильність до перегрівання, а отже, існують передумови для його нормальної роботи при знижених динамічних та підвищених навантаженнях на стирання, як наслідок, існують передумови для його нормальної роботи за знижених динамічних і підвищених стираючих навантажень.

3.2 Вплив легування на властивості швидкорізальних сталей

Швидкорізальні сталі, на відміну від легованих і вуглецевих сталей, мають високу теплостійкість, зберігаючи мартенситну структуру і твердість понад 60 HRC під час нагрівання до 600-650°C, вищу міцність і підвищений опір пластичній деформації.

Основними легувальними елементами швидкорізальних сталей, що забезпечують високу червоностійкість, є вольфрам, молібден, ванадій і кобальт. Крім них усі сталі легують хромом. Важливим компонентом є вуглець.

Вміст вуглецю в сталі має бути достатнім, щоб забезпечити утворення карбідів легуючих елементів. Так, при вмісті вуглецю менше 0,7 % не виходить високої твердості в загартованому і у відпущеному стані. Вплив підвищеного вмісту вуглецю в сталях з молібденом більш сприятливий, ніж у вольфрамових.

Карбідоутворювальні елементи утворюють у сталі спеціальні карбіди: Me_6C на основі вольфраму і молібдену, MeC на основі ванадію і Me_{23}C_6 на основі хрому. Частину атомів Me становить залізо та інші елементи.

Вольфрам і молібден є основними легуючими елементами, що забезпечують червоностійкість. Вони утворюють у сталі карбід Me_6C , який під час аустенітизації часто переходить у твердий розчин, забезпечуючи отримання після загартування легованого вольфрамом (молібденом) мартенситу. Вольфрам і молібден ускладнюють розпад мартенситу під час нагрівання, забезпечуючи необхідну червоностійкість. Нерозчинена частина карбіду Me_6C призводить до підвищення зносостійкості сталі. Молібден за впливом на теплостійкість заміщає вольфрам за співвідношенням $\text{Mo} : \text{W} = 1 : 1,5$.

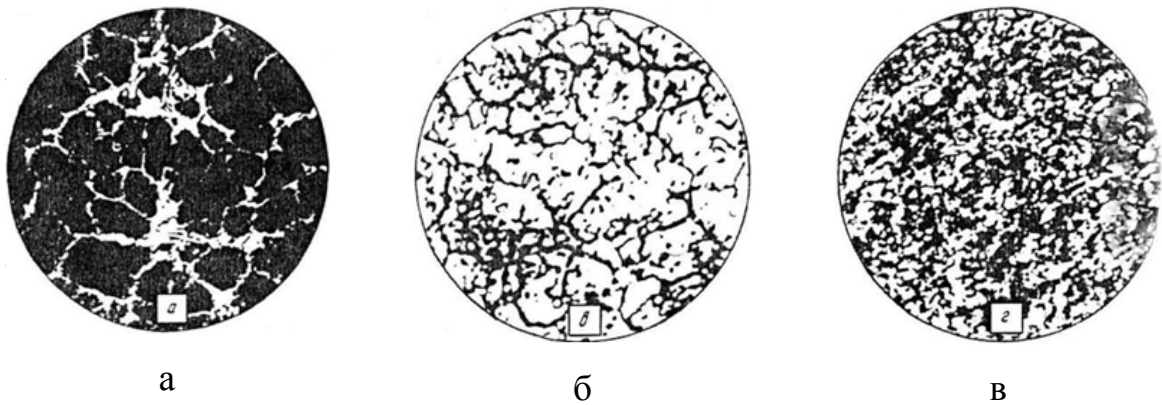
Ванадій утворює в сталі найбільш твердий карбід VC (MeC). Максимальний ефект від введення в сталь ванадію досягається за умови, що вміст вуглецю в сталі буде достатнім для утворення великої кількості карбідів і для насичення твердого розчину. Карбід MeC , частково розчиняючись в аустеніті, збільшує червоностійкість і підвищує твердість після відпуску завдяки ефекту дисперсійного затвердіння. Нерозчинена частина карбіду MeC збільшує зносостійкість сталі.

Хром у всіх швидкорізальних сталях міститься в кількості близько 4%. Він є основою карбіду Me_{23}C_6 . Під час нагрівання під загартування цей карбід повністю розчиняється в аустеніті за температур, значно нижчих, ніж температури розчинення карбідів Me_6C і MeC . Внаслідок цього основна роль хрому в швидкорізальних сталях полягає в наданні сталі високої прожарюваності. Він впливає і на процеси карбідоутворення під час відпуску.

Кобальт застосовують для додаткового легування швидкорізальної сталі з метою підвищення її червоностійкості. Кобальт здебільшого перебуває у твердому розчині і частково входить до складу карбіду Me_6C . До

недоліків впливу кобальту слід віднести погіршення міцності та в'язкості сталі, збільшення знеуглецювання.

Марганець у невеликих кількостях може переводити сірку в більш сприятливу сполуку.



а – литий стан; б – гартування; в – відпуск;

Рисунок 3.4 – Мікроструктура сталі Р6М5

Сірка є шкідливою домішкою, що сприяє червоноламкості. У ледебуритних сталях негативна роль сульфідів, що утворюються, менша через присутність у структурі значно більшого числа надлишкових карбідів, які можуть також погіршувати ці властивості. Крім того, сульфідни за низьких температур початку затвердіння цих сталей часто слугують центрами кристалізації і присутні всередині великих евтектичних карбідів. Їхня кількість зменшується на межі зерен. Для зменшення кількості сірки (до 0,015 %) використовують електрошлаковий переплав.

Фосфор також є шкідливою домішкою. За вмісту фосфору більш ніж 0,02-0,03 % помітно знижується в'язкість і міцність, посилюються спотворення в решітці мартенситу.

3.3 Режими термічної обробки швидкорізальних сталей

1,2 % V; 0,5 % C. Решта елементів, що містяться в сталі, входить до складу нерозчиненої (надлишкової) карбідної фази.

При температурі загартування 1200-1230°C у сталі Р6М5 забезпечується дрібне зерно аустеніту (№ 10-11); вміст залишкового аустеніту становить 20-25 %, досягається висока твердість і червоностійкість сталі. Межа міцності при вигині після загартування від 1240°C різко знижується. Таким чином, дані вивчення фазового складу, структури і властивостей швидкорізальних сталей показують, що оптимальна температура загартування сталі Р6М5 становить 1200-1230°.

Високолегований аустеніт, що утворився під час високотемпературного нагрівання, має вельми високу стійкість до розпаду, внаслідок чого швидкорізальна сталь може загартовуватися навіть під час охолодження на повітрі.

Однак при цьому можливе виділення з переохолодженого аустеніту за температур 800-550°C спеціальних карбідів, що призводить до збідніння твердого розчину легуючими елементами і до зменшення червоностійкості. Тому інструмент зі швидкорізальної сталі зазвичай охолоджують у маслі або в розплаві солей чи лугу. В інтервалі температур 350-600°C між I і II ступенями є зона високої стійкості аустеніту, що дає змогу проводити ступінчасте загартування інструментів. Витримка в інтервалі температур 400-500°C не викликає виділення карбідів, розпаду аустеніту і не впливає на температуру мартенситного перетворення. Однак ступінчасте загартування в низькотемпературній соляній (лужній) ванні дає змогу вирівняти температуру за перерізом інструменту перед мартенситним перетворенням і тим самим значно зменшити напруження, що виникають під час загартування, а отже, зменшити викривлення інструменту та можливість утворення в ньому гартівних тріщин.

Положення температурного інтервалу мартенситного перетворення характеризує кількість залишкового аустеніту, одержуваного після

загартування. Цей інтервал значною мірою залежить від температури нагріву під загартування.

При дотриманні рекомендованих температур нагріву під загартування значення температури початку мартенситного перетворення $M_n=150-200^{\circ}\text{C}$ для сталі Р6М5. При охолодженні до кімнатної температури залишається нерозпавшимся 20-25 % аустеніту.

Таким чином, фазовий склад швидкорізальних сталей після загартування зазвичай такий: нерозчинених карбідів 7-15 %, залишкового аустеніту 20-30 %, решта - мартенсит.

Перетворення під час відпустки швидкорізальної сталі полягає у виділенні спеціальних карбідів з мартенситу і перетворенні залишкового аустеніту в мартенсит. Завдяки цим процесам досягаються високі властивості сталі й інструмент набуває необхідних експлуатаційних характеристик.

Відпуск за температури $540-560^{\circ}\text{C}$ сприяє досягненню максимальної твердості сталі. Під час нагрівання загартованої швидкорізальної сталі до такої температури та ізотермічної витримки при ній із залишкового аустеніту відповідно до діаграми виділяються спеціальні карбіди. Внаслідок цього підвищується мартенситна точка і залишковий аустеніт частково перетворюється на мартенсит. Практично повне перетворення залишкового аустеніту на мартенсит можна здійснити лише після кількох циклів нагріву й охолодження, тобто після 2-4-кратного відпуску. Так, дані показують, що тривалість одноразового відпуску понад 1 год призводить до невеликого зниження кількості залишкового аустеніту порівняно з тією кількістю, що перетворюється під час одногодинного відпуску. Істотний ефект досягається за багаторазового відпуску. Після першого відпуску кількість залишкового аустеніту знижується з 25 до 10 %. При цьому мартенсит, отриманий під час загартування (~55%), відпускається, але утворюється новий невідпущений мартенсит (~15%) із залишкового аустеніту. Під час другого відпуску кількість залишкового аустеніту знижується з 10 до 5%, відпускається мартенсит, отриманий під час першого відпуску, але знову з'являється новий

невідпущений мартенсит (~5 %). Після третього відпуску кількість залишкового аустеніту становить лише 1-2 % і практично весь мартенсит відпущений (крім 3-4 %, отриманих під час третього відпуску). Багаторазовий відпуск призводить до зростання твердості порівняно із загартованим станом.

Таким чином, фазовий склад швидкорізальних сталей після багаторазового відпуску такий: спеціальні карбіди (нерозчинені під час аустенітизації та ті, що виділилися під час відпуску) 20-25 %; залишковий аустеніт 1-2 %; решта - відпущений мартенсит (зокрема 3-4 % невідпущеного).

3.4 Розрахунок тривалості нагрівання та плану термічного відділення

Виконаємо розрахунки для фрези кінцевої зі сталі Р9М4К8 з габаритними розмірами $d=31\text{мм}$, $L=80\text{мм}$.

Режим ізотермічного відпалу: температура 840-860°C, охолодження із піччю зі швидкістю 40°C/год до температури 720-730°C, ізотермічна витримка не менше 4 год., охолодження із піччю зі швидкістю 50°C/год до 600°C, потім на повітрі.

Відпал є знеміцнювальною операцією, мета якої – проведення таких структурних змін, які б поліпшували технологічні властивості матеріалу заготовки. Відпал повинен забезпечити отримання структури рівновагового сорбітоподібного перліту з твердістю не більше НВ 255-285.

Режими кінцевої термічної обробки:

Перший підігрів робиться до температур 450°C для попередження утворень тріщин. Другий підігрів робиться до температури 830-850°C, що забезпечує закінчення фазових перетворень та вирівнювання температури за перерізом виробу.

Висока температура гартування 1220-1240°C для сталі P9M4K8 (на 420...440°C вище A_1) необхідна для розчинення карбідів W, Mo, Cr та отримання високолегованого аустеніту (при нагріві) та високолегованого мартенситу (після гартування). Температура гартування повинна бути як можна вищою, але не вище температури початку інтенсивного росту зерна або оплавлення.

Витримка при гартуванні повинна забезпечити максимально повне розчинення карбідів, але не повинна призвести до окислення, знеуглецювання та росту зерна.

Після чого охолоджуємо в лузі NaOH зі швидкістю 50°C/с (сходинкове гартування), а потім охолодження на повітрі та нижче лінії $M_{\text{п}}$ відбувається бездифузійне перетворення аустеніту в мартенсит. Після охолодження до кімнатної температури отримується структура $M + A_{\text{зал}} (\approx 30\%) + K$.

Проводиться сходинкове гартування для попередження деформації виробів.

При повільному охолодженні з високих температур (наприклад, на повітрі) можуть виділитися карбіди, які збіднюють твердий розчин на легувальні елементи, що погіршує різальні властивості. Після гартування сталь має твердість 62 ... 64 HRC, яка не є максимальною, тому що в структурі крім високолегованого мартенситу (з 0,3-0,4% C) та нерозчинених надлишкових карбідів є 25-30% залишкового аустеніту. Чим вища температура гартування, тим нижчими будуть температури мартенситних точок $M_{\text{п}}$ та $M_{\text{к}}$ та тим більшою кількістю аустеніту залишкового.

Після гарту проводиться триразовий відпуск при 550°C та витримкою 1 година для зменшення в структурі м'якої фази $A_{\text{зал}}$ та виділення дисперсних карбідів.

Для здійснення операції ізотермічного відпалу обираємо піч СНЗ-6.12.4/10:

С-електична, Н-камерна, 3-захисне середовище (контрольоване), з шириною 600мм, довжиною 1200мм, висотою 400мм робочого простору з максимальною температурою нагріву до 1000°C. Робоче середовище ендогаз ($\text{CO} \sim 19\%$, $\text{H}_2 \sim 41\%$, решта N_2).

На рисунку 1.1(а) показана заготовка робочої частини з розмірами: висота 80мм і діаметром 31мм

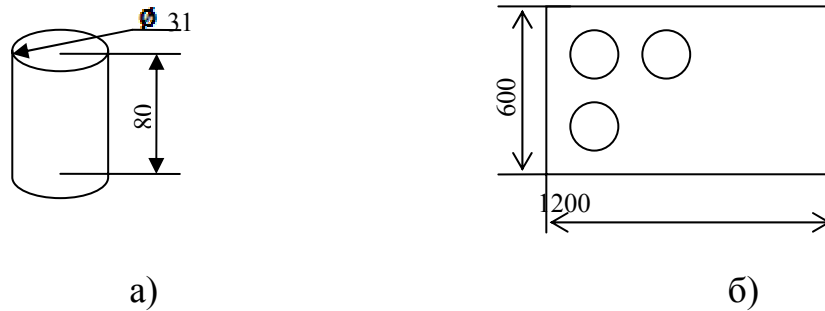


Рисунок 3.6 – Схема заготовки робочої частини(а) та схема садки печі(б)

Розраховуємо кількість виробів що вміщуються по ширині робочого простору печі СНЗ-6.12.4/10:

$$n_{\text{ш}} = \text{Ш} / (d + d/2),$$

де Ш- ширина робочого простору, 600мм;

d – діаметр заготовки, 31мм;

$$n_{\text{ш}} = 600 / (31 + 15,5) = 13 \text{ шт.}$$

Розрахуємо кількість виробів, що вміщуються по довжині робочого простору печі:

$$n_{\text{д}} = \text{Д} / (d + d/2),$$

де Д- довжина робочого простору, 1200мм;

d – діаметр заготовки, 31мм;

$$n_{\text{д}} = 1200 / (31 + 15,5) = 26 \text{ шт.}$$

Тоді в одному ярусі розташовується: $n_{\text{яр}} = n_{\text{ш}} \cdot n_{\text{д}} = 13 \cdot 26 = 338 \text{ шт.}$

Розраховуємо кількість виробів, які можуть бути розташовані у робочому просторі печі по висоті:

$$n_{\text{Л}} = \text{Л} / (l + l/2),$$

де L - висота робочого простору, 400мм;

l – висота заготовки, 80 мм;

$$n_L = 400 / (80 + 40) = 3 \text{ яр.}$$

Кількість виробів в печі розраховуємо за формулою:

$$N = n_{\text{яр}} \cdot n_L = 338 \cdot 3 = 1014 \text{ шт.}$$

Маса однієї деталі – $m = 0,5$ кг.

$$\text{Розраховуємо масу садки : } M_c = N \cdot m = 1014 \cdot 0,5 = 508 \text{ кг.}$$

Перший підігрів інструменту під гарт здійснюється в печі СНО–4.9.4,5/6,5: С-електрична, Н-камерна, О-окисне середовище (контрольоване), з шириною 400мм, довжиною 900мм, висотою 450мм, нагрів при температурі $450 \pm 10^\circ\text{C}$ в окисному середовищі.

Оскільки після нагрівання вироби потрібно переносити у піч - ванну СВС – 3,5.8.4, яка є за розмірами робочого середовища дещо меншою, кількість садки розраховуємо за розмірами печі СВС і розташовуємо вироби лише в один ярус.

Розраховуємо кількість виробів, що поміщуються по ширині робочого простору печі СВС-3,5.8.4/8,5:

$$n_{\text{ш}} = \text{Ш} / (d + d/2),$$

де Ш- ширина робочого простору, 350мм;

d – діаметр заготовки, 31мм;

$$n_{\text{ш}} = 350 / (31 + 15,5) = 7 \text{ шт.}$$

Розраховуємо кількість виробів, що поміщуються по довжині робочого простору печі:

$$n_{\text{д}} = \text{Д} / (d + d/2),$$

де Д- довжина робочого простору, 800мм;

d – діаметр заготовки, 31мм;

$$n_{\text{д}} = 800 / (31 + 15,5) = 17 \text{ шт.}$$

Тоді в одному ярусі розташовується: $n_{\text{яр}} = n_{\text{ш}} \cdot n_{\text{д}} = 7 \cdot 17 = 119 \text{ шт.}$

$$\text{Розраховуємо масу садки : } M_c = N \cdot m = 119 \cdot 0,5 = 59,5 \text{ кг.}$$

Другий підігрів під гарт (обробляється тільки робоча частина фрези) здійснюється в печі СВС 3,5.8.4/8,5: С – електрична, В – піч ванна, С- робоче середовище сіль, з шириною 350мм, довжиною 800мм, висотою 400мм, максимальний нагрів до температур 850°C. Робоче середовище 78% $\text{BaCl}_2 + 22\% \text{NaCl}$.

В одному ярусі розташовується: $n_{\text{яр}} = 119$ шт.

У цю піч занурюється лише робоча частина фрези, то буде всього один ярус. Розрахуємо масу садки: $M_c = N \cdot m = 119 \cdot 0,5 = 59,5$ кг.

Для остаточного нагріву під гарт обираємо піч СВС 3,5.8.4/13: С – електрична, В – піч ванна, С- робоче середовище сіль, з шириною 350мм, довжиною 800мм, висотою 400мм, максимальний нагрів до температур 1300°C. Робоче середовище 100% BaCl_2 .

Оскільки розміри робочого простору цієї сталі такі ж, як і для другого підігріву, то і кількість виробів буде оброблятись така ж.

Для охолодження в 100% лузі NaOH (сходинкове гартування) будемо використовувати піч-ванну СВС-3,5.8.4/6,5.

Через те, що розміри печі однакові, то і маса садки для відпуску буде однаковою, змінюється лише максимальна температура нагріву печі, для відпуску обирається піч СВС 3,5.8.4/6 з максимальною температурою нагріву до 600 °C. Робоче середовище – розплавлена сіль 85% $\text{KNO}_3 + 15\% \text{NaOH}$.

Щоб розрахувати час за який відбувається термічна обробка, скористаємось такими формулами. Загальна тривалість нагрівання $\tau_{\text{заг.}}$, хв., визначається за формулою:

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{в}},$$

де, $\tau_{\text{н}}$ - час нагрівання до заданої температури, хв.;

$\tau_{\text{в}}$ - час витримки при технологічній температурі, хв.

Для визначення часу нагрівання $\tau_{\text{н}}$ можна використовувати методику приблизного розрахунку. Ця методика базується на тому, що садка металу складається з простих за формою виробів (куля, циліндр, призма і т.ін.) при нескладному їх розташуванні в один або декілька шарів з забезпеченням

певних відстаней між виробами і без урахування негативної дії нерухомих прошарків нагрівального середовища. Тоді тривалість нагрівання визначається за формулою:

$$\tau_n = S \cdot k \cdot f \cdot L_{\text{л}},$$

де S - характеристичний розмір виробу, мм;

k - коефіцієнт форми;

f - коефіцієнт розташування виробів в нагрівальному пристрої, що впливає на час нагрівання, хв.;

$L_{\text{л}}$ - коефіцієнт легування сталі, хв/мм.

Час витримки $\tau_{\text{в}}$, хв., при заданій температурі розраховується з таблиць.

Ізотермічний відпал

Розрахуємо час нагріву до температури 850 °С.

$$\tau_n = S \cdot k \cdot f \cdot L_{\text{л}}$$

де S - характеристичний розмір виробу, мм; $S=15,5$ мм(половина діаметру),

k - коефіцієнт форми ($k=1$ згідно [2]);

f - коефіцієнт розташування виробів в нагрівальному пристрої, що впливає на час нагрівання, хв., ($f=1,4$ згідно [2]);

$L_{\text{л}}$ - коефіцієнт легування сталі, хв/мм, $L_{\text{л}}=1,72$ згідно [2].

$$\tau_n = 15,5 \cdot 1 \cdot 1,4 \cdot 1,72 = 37,32 (\text{хв.})$$

Час витримки при температурі 850 °С визначається як:

$$\tau_{\text{в1}} = 2 \text{хв на 1мм товщини} = 2 \cdot 15,5 = 31 \text{хв.}$$

Час охолодження до температури ізотермічної витримки 720 °С:

$$\tau_{\text{ох1}} = (t_{\text{п}} - t_{\text{к}}) / V_{\text{ох}}$$

де $t_{\text{п}}$ – температура початку охолодження, °С. $t_{\text{п}}=850$ °С,

$t_{\text{к}}$ – температура кінця охолодження, °С. $t_{\text{к}}=720$ °С,

$V_{\text{ох}}$ – швидкість охолодження із піччю, °С/год. $V_{\text{ох}} = 40$ °С/год.

$$\tau_{\text{ох1}} = (t_{\text{п}} - t_{\text{к}}) / V_{\text{ох}} = 850 - 720 / 40 = 3,25 (\text{год.})$$

Ізотермічна витримка при 720°C, тривалість витримки знаходиться за допомогою ізотермічної діаграми.

$$\tau_{B2} = 6 \times 104 = 1000 \text{ хв} = 16,7 \text{ (год.)}$$

Далі – охолодження із піччю зі швидкістю 50°C/год. до 600°C.

$$\tau_{ox2} = (t_{п.} - t_{к.}) / V_{ox} = 720 - 600 / 50 = 2,4 \text{ (год.)}$$

Далі – охолодження на повітрі зі швидкістю 5°C/с.

$$\tau_{ox3} = (t_{п.} - t_{к.}) / V_{ox} = 600 - 20 / 5 = 116 \text{ (с.)} = 1,19 \text{ (хв.)} = 0,032 \text{ (год.)}$$

Загальний час ізотермічного відпалу становить:

$$\tau_{заг} = \tau_{H1} + \tau_{B1} + \tau_{ox1} + \tau_{B2} + \tau_{ox2} + \tau_{ox3} = 37,32/60 + 31/60 + 3,25 + 16,7 + 2,4 + 0,032 = 23,524 \text{ год.}$$

Гартування: Перший підігрів (камерна піч СНО-4.9.4,5/6,5) до температур 450 ± 10°C:

$$\tau_{H1} = S \cdot k \cdot f \cdot L_{Л}$$

$$\tau_{H1} = 15,5 \cdot 1 \cdot 1,4 \cdot 2,7 = 37,32 \text{ (хв.)}$$

Тривалість витримки τ_B розраховуємо за формулою, так як виріб гріється з двох сторін, використовуємо значення радіуса заготовки:

$$\tau_{B1} = 2 \cdot 15,5 = 31 \text{ хв.}$$

Загальний час першого підігріву:

$$\tau_{заг} = \tau_H + \tau_B = 37,32 + 31 = 68,32 \text{ (хв.)} = 1,14 \text{ (год.)}$$

Другий підігрів (піч-ванна СВС-3,5.8.4/8,5):

Тривалість прогрівання розраховують як добуток питомої тривалості прогрівання на коефіцієнти, які враховують вплив форми інструменту:

$$\tau_{п2} = \tau_{с.п.} = K_1 \cdot (V/F) \cdot K_{\phi} \cdot K_{и},$$

де K_1 - коефіцієнт, який характеризує питому тривалість прогрівання, хв./см.

Для середньотемпературного прогрівання попередньо підігрітих до 400-500°C інструментів $K_1 = 12,5 - 0,025(t_H - 800)$, де t_H – температура нагрівання, °C;

V/F – відношення об'єму до теплосприймаючої поверхні зразків простої форми. Для суцільного циліндру $V/F = (D \cdot H) / (4H + 2D)$, см.

K_{ϕ} – критерій форми, який враховує вплив теплопередачі через різні поверхні гладких тіл при всебічному нагріванні. Для короткого циліндру $K_{\phi}=1+0,2 (H/D)$.

$K_{и}$ – коефіцієнт конфігурації інструменту, який враховує зрізаність канавками фасонної частини робочої частини інструменту. $K_{и}=0,9$.

$$K_1=12,5-0,025(t_n - 800)= K_1=12,5-0,025(850 - 800)=11,25 \text{ (хв.)}.$$

$$V/F=(D \cdot H)/(4H+2D)=(3,1 \cdot 8,0)/(4 \cdot 8,0+2 \cdot 3,1)=0,6492 \text{ (см)}.$$

$$K_{\phi}=1+0,2 (H/D)= K_{\phi}=1+0,2 (80/31) = 1,52,$$

$$K_{и}=0,9.$$

$$\tau_{н2} = \tau_{с.п.} = K_1 \cdot (V/F) \cdot K_{\phi} \cdot K_{и} = 11,25 \cdot 0,6492 \cdot 1,52 \cdot 0,9=9,99 \text{ (хв.)},$$

$$\tau_{в2}=2,5 \text{ хв.} + 0,3 \text{ хв. на } 1\text{мм товщини виробу};$$

$$\tau_{в2} = 2,5 + 0,3 \cdot 15,5 = 7,15 \text{ (хв.)}.$$

Загальна тривалість другого підігріву становить:

$$\tau_{заг} = \tau_{с.п.} + \tau_{в} = 9,99+7,15=17,14 \text{ (хв.)} = 0,29 \text{ (год.)}.$$

Кінцевий підігрів (піч-ванна СВС-3,5.8.4/13):

Для високотемпературного нагрівання $K_1=8 - 0,013(t_n - 1000)$
 $K_1=8-0,013(1230 - 1000)=5,01 \text{ (хв.)}$

$$V/F=(D \cdot H)/(4H+2D)=(3,1 \cdot 8,0)/(4 \cdot 8,0+2 \cdot 3,1)=0,6492 \text{ (см)}.$$

$$K_{\phi}=1+0,2 (H/D)= K_{\phi}=1+0,2 (8,0/3,1)=1,5 \text{ (хв)}$$

$$K_{и}=0,9$$

$$\tau_{п3}=\tau_{с.п.}=K_1 \cdot (V/F) \cdot K_{\phi} \cdot K_{и} = 5,01 \cdot 0,6492 \cdot 1,5 \cdot 0,9=4,39 \text{ (хв.)}$$

$$\tau_{в3}=2,5 \text{ хв.} + 0,3 \text{ хв. на } 1\text{мм товщини виробу};$$

$$\tau_{в3} = 2,5 + 0,3 \cdot 15,5 = 7,15 \text{ (хв.)}$$

$$\tau_{заг} = \tau_{с.п.} + \tau_{в3} = 4,39+7,15=11,5 \text{ (хв.)}=0,19\text{(год.)}.$$

$$\tau_{ох.}=(t_{п.}-t_{к.})/V_{ох.}$$

де $t_{п.}$ – температура початку охолодження, °С. $t_{п.}=1230^{\circ}\text{C}$.

$t_{к.}$ – температура кінця охолодження, °С. $t_{к.} = 500^{\circ}\text{C}$.

$V_{ох.}$ – швидкість охолодження, 100°C/с [3] у розтопленому лузі NaOH до 500°C .

$$\tau_{ох1}=(1230-500)/100=7,3\text{(с.)}=0,12\text{(хв.)}=0,002 \text{ (год.)}$$

Тривалість витримки при 500 °С згідно діаграми термкінетичного розпаду переохолодженого аустеніту сталі Р9М4К8 (рис.4.1) – 2 хв.

Тривалість охолодження виробу на повітрі з 500 °С до 20 °С при швидкості 5°C/с: $\tau_{ox2} = (500-20)/5 = 96$ (с.) = 1,6(хв.) = 0,027 (год.).

Загальна тривалість гартування становить:

$$\tau_{заг.} = \tau_{заг1} + \tau_{заг2} + \tau_{заг.осн.} + \tau_{ох1} + \tau_{ох2} = 1,14 + 0,29 + 0,19 + 0,002 + 0,027 = 1,649 \text{ (год.)}.$$

Відпуск(3 рази) (піч СВС-3,5.8.4/6):

$$\tau_H = S \cdot k \cdot f \cdot L_{д}$$

$$\tau_H = 15,5 \cdot 1 \cdot 1,4 \cdot 0,5 = 10,85 \text{ (хв.)}$$

$$\tau_B = 1 \text{ (год.)}$$

взяли з довідникових даних

$$\tau_{ох.} = (t_{п.} - t_{к.}) / V_{ох.}$$

де $t_{п.}$ – температура початку охолодження, °С. $t_{п.} = 560^\circ\text{C}$,

$t_{к.}$ – температура кінця охолодження, °С. $t_{к.} = 20^\circ\text{C}$,

$V_{ох.}$ – швидкість охолодження, 5°C/с.

$$\tau_{ох.} = (560 - 20) / 5 = 108 \text{ (с.)} = 1,8 \text{ хв.}$$

Загальний час відпуску становить:

$$\tau_{заг.} = \tau_H + \tau_B + \tau_{ох.} = 10,85 + 60 + 1,8 = 72,65 \text{ (хв.)} = 1,2 \text{ (год.)}.$$

При цьому методі необхідний час роботи обладнання для виконання конкретної операції визначається на основі даних завантажувальної відомості. Вона складається для кожної операції термічної обробки та кожного обладнання. Ця методика більш точна, вона враховує масу садки, загальний час, зайнятий обладнанням при обробці садки, раціональний спосіб завантаження виробів в піч і в певній мірі відображає необхідний час для обробки конкретних виробів. У відомість включають усі вироби, які обробляються на даному обладнанні.

Кількість садок на рік $N_i = M_{pi} / \Pi_{ci}$. Необхідний загальний час роботи печі

$$T_3 = \sum_{i=1}^n T_i. \text{ Необхідний час роботи печі для обробки } i\text{-го виробу } T_i = N_i \cdot \tau_{заг. i}$$

Визначимо кількість печей $Pr = T_3 / \Phi_d$, де Φ_d – річний фонд часу роботи обладнання. $\Phi_d = D_{\text{роб.}} \cdot K_{\text{зм}} \cdot T_{\text{зм}} \cdot K_{\text{вик}}$, де $D_{\text{роб.}}$ – кількість робочих днів за рік, $K_{\text{зм}}$ – кількість змін за добу, $T_{\text{зм}}$ – тривалість однієї зміни, год, $K_{\text{вик}}$ – коефіцієнт використання часу роботи обладнання, $K_{\text{вик}} = 0,94 \dots 0,96$.

$$\Phi_d = 250 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 0,95 = 3800 \text{ год.}$$

Коефіцієнт завантаження розраховують за формулою: $K_z = Pr / \Pi_{pr}$.

Річна програма виготовлення – 650 тон.

Обладнання – СНЗ – 6.12.4/10,

Таблиця 3.2 - Операція ТО – ізотермічний відпал.

Назва виробу	Матеріал	Маса виробу m_i , кг	Річна програма Mr_i		Садка Pc_i		Кількість садок на рік N_i , шт	Загальний час обробки садки $\tau_{\text{загі}}$, год.	Необхідний час роботи печі T_i , год.
			шт.	кг	шт.	кг			
Фреза	P9M4K8	0,5	1300000	650000	1014	508	1282	23,5	30128
Усього T_3									30128

Для проведення ізотермічного відпалу кількість печей: $Pr_{\text{ц}} = 30128 / 3800 = 7,9$ шт, приймаємо 8 шт. $K_{z_{\text{ив}}} = 7,9 / 8 = 0,991$.

Обладнання – СНО – 4.9.4,5/6,5

Таблиця 3.3 - Операція ТО – перший підігрів для гартування

Назва виробу	Матеріал	Маса виробу m_i , кг	Річна програма Mr_i		Садка Pc_i		Кількість садок на рік N_i , шт	Загальний час обробки садки $\tau_{\text{загі}}$, год.	Необхідний час роботи печі T_i , год.
			шт.	кг	шт.	кг			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Фреза	P9M4K8	0,5	1300000	650000	119	59,5	10925	1,14	12453,8
Усього Тз									12453,8

Для проведення першого підігріву для гартування кількість печей:
 $Pr_I = 12453,8/3800 = 3,46$ шт, приймаємо 4шт. $K_{зr} = 3,46/4 = 0,86$.

Обладнання – СВС – 3,5.8.4/8,5,

Таблиця 3.4 - Операція ТО – другий підігрів для гартування

Назва виробу	Матеріал	Маса виробу m_i , кг	Річна програма Mr_i		Садка Ps_i		Кількість садок на рік N_i , шт	Загальний час обробки садки $\tau_{загi}$, год.	Необхідний час роботи печі T_i , год.
			шт.	кг	шт.	кг			
Фреза	P9M4K8	0,5	1300000	650000	119	59,5	10925	0,28	3095
Усього Тз									3095

Для проведення другого підігріву для гартування кількість печей:
 $Pr_e = 3095/3800 = 0,81$ шт, приймаємо 1шт. $K_{зв} = 0,81/1 = 0,81$.

Обладнання – СВС – 3,5.8.4/13,

Таблиця 3.5 - Операція ТО – кінцевий підігрів для гартування

Назва виробу	Матеріал	Маса виробу m_i , кг	Річна програма Mr_i		Садка Ps_i		Кількість садок на рік N_i , шт	Загальний час обробки садки $\tau_{загi}$, год.	Необхідний час роботи печі T_i , год.
			шт.	кг	шт.	кг			

Фреза	P9M4K8	0,5	1300000	650000	119	59,5	10925	0,19	2076
Усього Тз									2076

Для проведення кінцевого підігріву для гартування кількість печей:
 $Pr_6 = 2076/3800 = 0,55$ шт, приймаємо 1шт. $K_{зв} = 0,55/1 = 0,55$.

Обладнання – СВС – 3,5.8.4/6,5,

Таблиця 3.6 - Операція ТО – охолодження до 500°C

Назва виробу	Матеріал	Маса виробу m_i , кг	Річна програма Mr_i		Садка Ps_i		Кількість садок на рік N_i , шт	Загальний час обробки садки $\tau_{загi}$, год.	Необхідний час роботи печі T_i , год.
			шт.	кг	шт.	кг			
Фреза	P9M4K8	0,5	1300000	650000	119	59,5	10925	0,04	408
Усього Тз									408

Для проведення другого підігріву для гартування кількість печей:
 $Pr_6 = 408/3800 = 0,11$ шт, приймаємо 1шт. $K_{зв} = 0,11/1 = 0,11$.

Обладнання – СВС – 3,5.8.4/6,

Таблиця 3.7 - Операція ТО – Відпуск (триразовий)

Назва виробу	Матеріал	Маса виробу m_i , кг	Річна програма Mr_i		Садка Ps_i		Кількість садок на рік N_i , шт	Загальний час обробки садки $\tau_{загi}$, год.	Необхідний час роботи печі T_i , год.
			шт.	кг	шт.	кг			

Фреза	P9M4K8	0,5	1300000	650000	119	59,5	10925	3,54	38674,5
Усього Тз									

Для проведення другого підігріву для гартування кількість печей:
 $Pr_6 = 38674,5 / 3800 = 10,18$ шт, приймаємо 11шт. $K_{зв} = 10,18 / 11 = 0,93$.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

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

4.1 Аналіз потенційних небезпек

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.2 Заходи по забезпеченню безпеки

а) для виключення можливості ураження електричним струмом згідно з ПУЕ – 2017 «Правила устрою електроустановок» [44] передбачається:

- всі співробітники лабораторії повинні мати 2-3 групу з електробезпеки. Періодично один раз на рік необхідно перевіряти опір заземлення, який не повинен перевищувати 4 Ом. Якість заземлення перевіряється щорічно з оформленням акту відповідно нормативних вимог

ГОСТ 12.1.019-79 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» [45].

- Періодично, не рідше ніж два рази на рік, передбачається перевіряти справність контактів електроз'єднань, штепсельних вилок з'єднувальних провідників. В тому випадку, якщо при дотику до не струмопровідних частин електроприводу відчувається електричний струм, передбачається вимикання приладу від електромережі. Ремонт електричного обладнання проводять особи, котрі мають кваліфікаційну групу (не менше III групи) з електробезпеки.

- Усі ремонтно-монтажні роботи або огляд високовольтних частин мікроскопу проводити не менш, ніж двома особами.

З метою забезпечення електробезпеки, необхідним є знання основних заходів, для попередження уражень електричним струмом.

Організаційні заходи - до виконання робіт допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли навчання, та перевірку знань з електробезпеки. Основним нормативним актом є ПУЄ (правовий устрій з електроустанов). Ремонт обладнання повинен здійснювати тільки спеціальний підготовлений персонал. Для кожного електроспоживного обладнання повинні бути складені експлуатаційні схеми нормальної і аварійної роботи.

Технічні заходи - розташування струмоведучих частин на недоступній висоті (до 1000 В), не менше 3,5 м (більше 1000 В - 6 м). Всі не ізольовані струмопровідні лінії повинні бути надійно огороженні суцільними огорожами. Відкриття яких можливий тальки за допомогою спеціальних пристроїв. Опір ізоляції електричних дротів повинен бути не менше 0,5 Ом. Обов'язковим є захисне заземлення або занурення. Обов'язковим є використання індивідуальних засобів захисту, зокрема гумовий діелектричний килимок, опір якого слід періодично перевіряти. Обов'язковим є встановлення автоматичних блокуючих пристроїв, які

запобігають небезпечним діям людини. Блокуючі пристрої розподіляють на механічні, електричні, та електромеханічні.

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

в) Для попередження термічних та хімічних опіків передбачено виконання роботи в спецодязі (халат, рукавиці) відповідно до ДСТУ 3962-2000 та ГОСТ 12.4.137-2001 [46].

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

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

Розливання кислот з пляшок проводиться за допомоги сифонів під витяжкою шляхом нахилу пляшки в корзині двома робочими. Якщо витяжка відсутня, то розливання проводиться у протигазах. Згідно з ГОСТ 12.4.103-83 «Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук. Классификация» [47] під час розливання робочі повинні бути одягненими у гумові фартухи, рукавиці, чоботи та захисні окуляри.

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

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

Передбачено перенесення лугів та лужних металів пінцетом або фарфоровою ложкою.

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

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

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

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

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

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

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

д) Безпека роботи з електронним мікроскопом залежить від точності дотримання вимог з техніки безпеки, котрі запроектовані для даної лабораторії та правильності експлуатації обладнання. Для проведення робіт на електронному мікроскопі необхідно одержати два дозвільні документи: Ліцензію на право ведення робіт з джерелом іонізуючого випромінювання в органах Держатомрегулювання України та Санітарний паспорт в Запорізькій обласній СЕС.

Для електронного мікроскопу передбачені заходи захисту у відповідності з вимогами «Норм радіаційної безпеки України (НРБУ – 97)»

та ОСП-72/88 «Основні санітарні правила роботи із радіоактивними речовинами та іншими джерелами іонізуючого випромінювання» [48].

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

Після довготривалої перерви в роботі, перед тим, як ввімкнути прискорюючу напругу, провести відпompування колони на високий вакуум протягом 3-4 годин. Прискорюючу напругу збільшувати поступово, починаючи з мінімальної для конкретного приладу. Юстировку електронного мікроскопу проводять тільки при відсутності забруднення у колоні і при мінімальному струмі електронного пучка. Профілактику мікроскопу проводити тільки під керівництвом наукового співробітника або інженера, який має право налагодження як мікроскопа в цілому, так і окремих його вузлів і систем. При кожному навіть незначному нещасному випадку (порізи, уколи, опіки, засолення очей тощо) необхідно негайно звернутися в медпункт та обов'язково доповісти про це керівнику групи або завідувачу лабораторії.

4.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

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

Вимоги санітарії до параметрів повітряного середовища виробничих приміщень наводяться ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [49]. Для нормальної роботи в лабораторії запроектовано підтримання оптимальних норм температури,

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

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

Таблиця 4.1 - Оптимальні норми температури, відносної вологості і швидкості переміщення повітря у робочій зоні виробничих приміщень

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

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

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

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

Також передбачається проведення вологого прибирання в приміщенні.

є) Персонал, що працює на комп'ютері зобов'язаний дотримуватися вимог інструкції, розробленої на підставі Санітарних норм і правил СанПіН 2.2.2.542-96 «Гігієнічні вимоги для відео дисплейних терміналах, персональними електророзрахунковими машинами і організації робіт» [50], а також нести особисту відповідальність за дотримання вимог безпеки своєї

праці і за створення небезпечного чи шкідливого виробничого фактору для інших працюючих і поломку комп'ютера.

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

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

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

Види трудової діяльності поділяються на 3 групи:

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

Група Б - робота з введенням інформації;

Група В - творча робота в режимі діалогу;

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

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

- для групи А - по сумарному числу опрацьованих знаків за час роботи

з комп'ютером, але не більше 60 000 знаків;

- для групи Б - по сумарному числу зчитуються або вводяться знаків за час роботи з комп'ютером, але не більше 40 000 знаків;

- для групи В - по сумарному часу безпосередньої роботи з комп'ютером, але не більше 6 годин за час роботи з комп'ютером;

Для забезпечення оптимальної працездатності і збереження здоров'я протягом часу роботи необхідно переконатися, що монітори комп'ютера мають антиблікове покриття (окрім групи А) з коефіцієнтом відбиття не більше 0,5. Покриття повинне також забезпечувати зняття електростатичного заряду з поверхні екрана, іскріння і накопичення пилу. Корпус монітора повинен забезпечувати захист від іонізуючих та неіонізуючих

випромінювань. Необхідно перевірити робоче положення комп'ютера від стань між стіною з віконними прорізами і столом має бути не менше 0,8 м. При невеликій кількості робочих місць бажано розташувати столи біля протилежної стіни щодо віконних прорізів. Відстань між робочими столами повинно бути не менше 1,2м. Не допускається знаходження другого робочого місця з боку задньої стінки комп'ютера. Оптимальними параметрами температури в кабінеті є 19-21°C, допустимі 18-22°C, відносна вологість повітря 62-55%.

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

4.4 Заходи з пожежної безпеки

До заходів щодо пожежної профілактики відносяться організаційні (правильна експлуатація машин, утримання будівель, організація дружин, пожежно-технічних комісій, видання наказів з питань посилення пожежної безпеки, тощо); технічні (дотримування протипожежних правил, норм при проектуванні будівель, при улаштуванні електроустаткування, опалення, вентиляції та ін.); експлуатаційні заходи (своєчасні профілактичні огляди, ремонт та випробування обладнання); заходи режимного характеру - це заборона палити в невстановлених місцях, виконання зварювальних робіт.

Приміщення лабораторії електронної мікроскопії у відповідності до СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания промышленных предприятий. Нормы проектирования» є пожежонебезпечним і відноситься до категорії Д (виробництва, що переробляють негорючі матеріали в холодному стані). Для даної категорії у випадку, якщо допустима кількість поверхів не обмежується, ступінь вогнестійкості будівель - I і II, площа поверху між протипожежними стінами будівель не обмежується.

У відповідності з вимогами СНиП 2.01.02-85 «Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений» [51], передбачаються шляхи евакуації працівників у випадку пожежі (евакуаційні виходи). Для категорії виробництва Д, незалежно від об'єму приміщення, для I і II ступеню вогнестійкості будівель, відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу не обмежується. Запроектовано використовувати обладнання, силові і освітлювальні мережі, котрі відповідають вимогам пожежної безпеки.

Оточуюче середовище в лабораторії - невибухонебезпечне (не містить значної кількості струмопровідного пилу, водяної пари, агресивних газів та

парів в концентраціях, які негативно впливають на обладнання, матеріали та ізоляцію).

Застосування автоматичних засобів пожежної сигналізації дозволяє сповістити персонал про пожежу і місце її виникнення. Пожежні оповіщувачі перетворюють неелектричні фізичні величини (випромінювання теплової і світлової енергії, рух частинок диму) в електричні, що у вигляді сигналу визначеної форми спрямовуються до прийомної станції.

Передбачено наявність в лабораторії одного порошкового вогнегасника типу ОП-5 (клас пожежі Д - пожежі металів та їх сплавів). Розташовується вогнегасник при вході у дослідницьку лабораторію. Відстань від можливого осередку пожежі до місця розташування вогнегасника не повинна перевищувати 70 м .

При виникненні пожежі в дослідницькій лабораторії необхідно: негайно викликати пожежну частину за телефоном (9-101), прийняти міри до евакуації співробітників, вимкнути обладнання від електромережі, вжити заходи щодо обмеження розповсюдження пожежі, сповістити адміністрацію та керівника лабораторії, покинути небезпечну зону і приступити до ліквідації пожежі первинними засобами пожежогасіння (вогнегасником, що розташовується при вході в лабораторію).

4.5 Заходи забезпечення безпеки в умовах надзвичайних ситуацій

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

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

Стратегія запобігання причин виникнення надзвичайних ситуацій передбачає недопущення таких дій або процесів, які несуть загрозу населенню. Дана стратегія здійснюється або відмовою від будівництва небезпечних об'єктів, або знищенням чи перепрофілюванням виробництв - джерел підвищеної небезпеки.

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

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

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

Превентивні:

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

Оперативні:

- оповіщення про НС;
- проведення всіх видів розвідки та оцінка обстановки;

- проведення екстрених захисних заходів (укриття в ЗС, евакуація, використання ЗІЗ);
- використання сил постійної готовності для локалізації катастрофи;
- надання першої медичної та першої лікарняної допомоги;
- нарощування сил і засобів в ОП за рахунок залучення формувань підвищеної готовності;
- термінове постачання постраждалих продовольством та іншими життєво необхідними засобами;
- введення аварійно-відновлювальних робіт.

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

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

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

3. Основна і визначальна стадія. Мета - перебороти надзвичайний характер ситуації: відновити безпеку населення в зоні лиха, ліквідувати загрозу життю і здоров'ю всім постраждалим, створити мінімально необхідні умови для життєдіяльності населення, що залишилося. Задача: розгортання в найкоротші терміни рятувальних робіт на всіх постраждалих об'єктах зони лиха, надання допомоги потерпілим для захисту їх життя, здоров'я і підтримання життєздатності в екстремальних умовах; евакуація постраждалих із зони лиха та їх життєзабезпечення; терміновому проведенні аварійно-відновлювальних робіт на системах водо-, тепло-, газо-, електросистемах і зв'язку в зоні лиха. Тривалість - кілька діб - кілька тижнів.

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

Таким чином, основними заходами безпеки при дослідженні є:

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

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

- використовувати ізоляцію проводів;

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

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

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

- заходи з санітарно-гігієнічних умов праці

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

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

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

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

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

5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ

5.1 Тенденції розвитку світового ринку технологій

Швидкорізальні сталі в Україні користуються великим попитом як на масовому виробництві так і в одиничних виробках. Ціна на сировину формується із затрат на виробництво та сировину. В цілому перспектива ринку на пряму залежить від загального росту української промисловості. Основним впливаючим фактором на ринок є ціни на легувальні елементи, такі як молібден, вольфрам, кобальт, ванадій, нікель. Наразі політична та економічна ситуації в Україні не задають тенденції до зниження росту цін.

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

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

Основним виробником інструментальних сталей в Україні є ДСС. Імпортна продукція на українському ринку зазвичай була представлена російськими виробниками-це перш за все «Іжсталь» і «Електросталь». Але їх частка на українському ринку була незначна, а у зв'язку із політичним становищем взагалі знизилась до нуля. Проте останнім часом ринок починають заповняти вироби із Китаю, проте якість сталі не відповідає українським стандартам та вироби не довговічні, хоча відзначаються

низькою ціною. Нещодавно в Україні активізувались індійські представники, які шукають представників на ринку Східної Європи, проте у них в цьому регіоні немає складів, а поставка продукції здійснюється мінімум 45 діб. Також на ринках України з'являється продукція підприємств В'єтнаму та ОАЕ. Доля імпортової сировини для швидкорізальних сталей в Україні становить близько 65%. Для більш ретельного аналізу ринку можна схематично представити карту стейкхолдерів, тобто карту зацікавлених сторін.

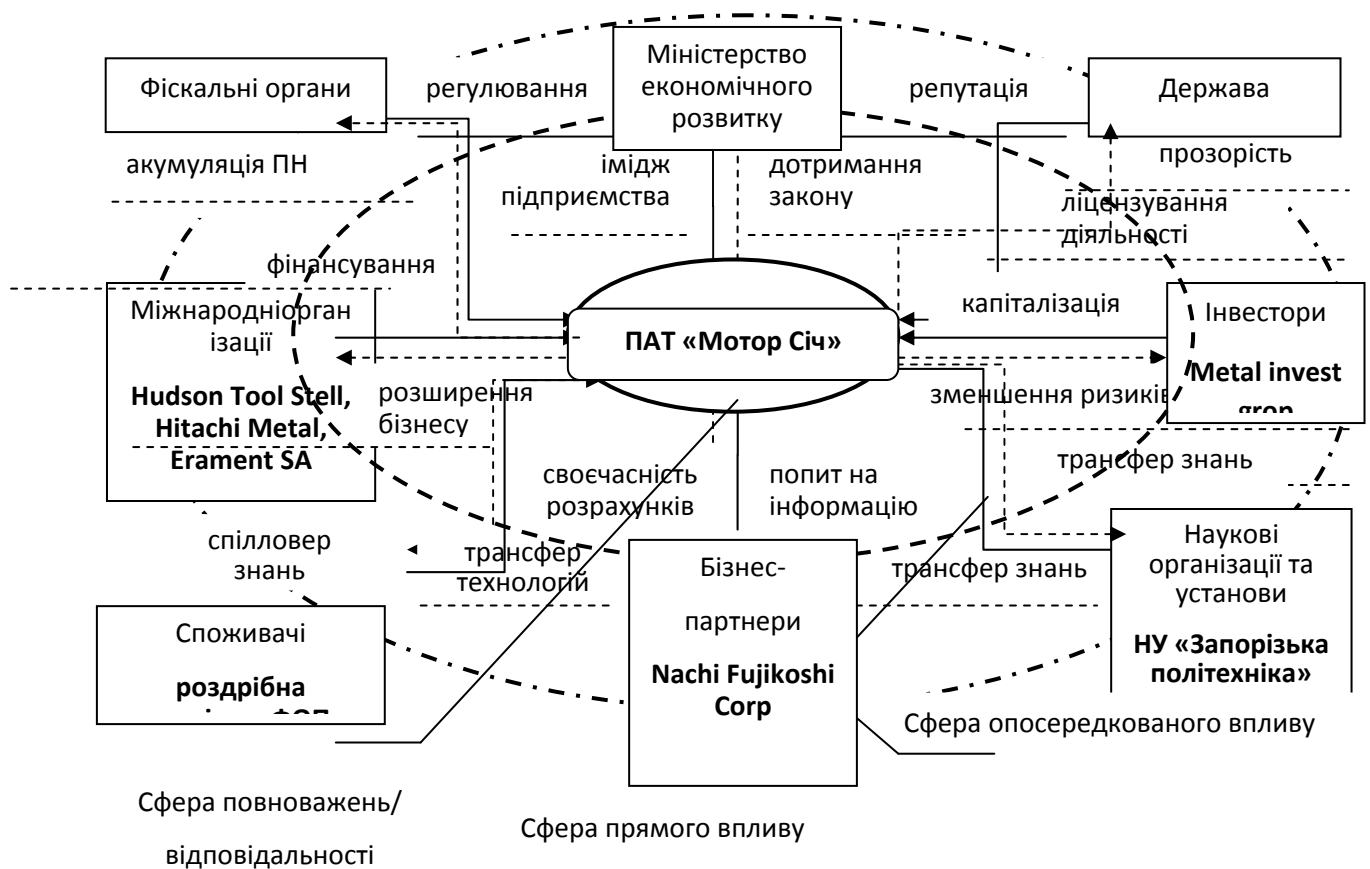


Рисунок 5.1 - Карта стейкхолдерів

Іноземні представники потроху витісняють вітчизняних. Проте із належною науково-технічною базою та із підтримкою інвесторів вітчизняне виробництво вийде на міжнародний рівень. Тобто необхідність і розробці таких сплавів, що задовільняють поставленим технічним вимогам, проте є конкурентоспроможними та економнолегованими як ніколи актуальна.

5.2 Техніко-економічні розрахунки

Метою цього розділу є огрунтування виробництва швидкорізальної сталі РЗАМЗФ2, яка додатково легована ніобієм для виробництва різальних інструментів. В таблиці 5.1 наведені розрахунки заробітної плати на термічну обробку швидкорізальної сталі. Основна заробітна плата (ЗО) основних виробничих робітників на одиницю виробу розраховується на основі трудомісткості виготовлення та часових тарифних ставок.

Основна заробітна плата основних виробничих робітників на одиницю виробу розраховується на основі трудомісткості виготовлення та часових тарифних ставок. Розрахунок основної заробітної плати на одиницю продукції наведений в таблиці 5.3.

Додаткова заробітна плата (ЗД) виробничих робітників виплачується за кількість та якість виконаної роботи. Вона вміщує надбавки і доплати, премії за виробничі результати, оплату чергових та додаткових відпусток та інше. Додаткова заробітна плата складає 40% від основної та відповідно становить 288 гривень та 282 гривні для базової та нової технологій, відповідно.

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

$$BC = (ЗО + ЗД + ПП) \times (K_{BC}/100), \text{ грн.}, \quad (5.1)$$

де ЗО – основна заробітна плата, грн.; ЗД – додаткова заробітна плата, грн.; ПП – премії з прибутку, грн.; К_{ВС} – відрахування на соціальні заходи, %.

Таблиця 5.1 - Склад, чисельність та фонд заробітної плати виробничих працівників

Категорії працівників	Наявна чисельність, осіб		Тарифна ставка за розрядом виконуваних робіт, грн / годину	Ефективний фонд робочого часу, годин	Тарифний заробіток, грн.	Преміальний відсоток до тарифного заробітку	Розмір премії, грн.	Річний фонд заробітної плати, грн.	ЄСВ, грн
	за зміну	на добу							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<u>1.Основні працівники</u>									
Терміст	1	3	90	8	10800	15	1600	178560	39030
Інженер-технолог (металург)	1	1	100	8	17600	20	3500	0	59520
Майстер	1	3	80	8	12800	10	1280	153600	33792
<u>2.Допоміжні працівники</u>									
Контролер ВТК	1	3	50	8	8800	10	880	105600	23232

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<u>3.Черговий</u> <u>та</u> <u>ремонтний</u> <u>персонал</u>								153600	33792
Електрик	1	3	80	8	12800	10	1280		
Механік	1	3	80	8	12800	10	1280	153600	33792
Разом виробничих працівників		17							

Таблиця 5.2 - Склад, чисельність та фонд заробітної плати адмінперсоналу (наукових робітників)

Посада	Кількість осіб	Посадовий оклад, грн	Преміальний відсоток до окладу, %	Сума премії грн	Місячна заробітна плата,	Річний фонд оплати праці, грн	ЄСВ, грн
1	2	3	4	5	6	7	8
Старший	1	5600	30	1650	7250	87000	19140

науковий співробітник							
--------------------------	--	--	--	--	--	--	--

Продовження таблиці 5.2

1	2	3	4	5	6	7	8
Лаборант	1	4850	30	1455	6305	75660	16645
Разом персоналу	2					162660	35785

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

Таблиця 5.3 – Розрахунок матеріальних витрат для термічної обробки сталі РЗАМЗФ2

Матеріальні витрати	Норматив у розрахунку на один. продук. (послуг)	Виробнича програма	Обсяг сировини	Ціна	Сума грн
1	2	3	4	5	6
Гартівна олія (мінеральна)	10л/садка	-	-	48грн/л	480
Матеріал	300 кг	-	300 кг	28 грн/кг	8400

Розчин солей	10 л/садка	-	10 л	17 грн/л	170
Разом					9050

Розрахунок витрати електроенергії. Основними споживачами електроенергії є соляна ванна та відпускна піч. Соляна ванна протягом всього періоду роботи споживає 68 кВт·год. Відпускна піч для здійснення одного відпуску потребує 15 кВт·год. електроенергії. Технологією передбачено здійснення трьох відпусків тому сумарне споживання електроенергії становить 143 кВт·год. Вартість сировини та основних матеріалів наведена в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Розрахунок вартості спожитих послуг

Вид послуг	Норматив у розрахунку на один. продук. (послуг)	Виробнича програма	Обсяг послуг	Тарифи	Сума грн
Електропостачання	143 кВт*год	-		2,68 грн/кВт*год	383
Водопостачання	2 кубометри			14,460 грн/кубометр	28,912
Разом					411,912

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

Загальновиробничі витрати вміщують витрати на утримання та експлуатацію обладнання, цехові витрати і послуги виробничого характеру.

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

Витрати на збут складаються з витрат, пов'язаних з реалізацією продукції і вміщують витрати на тару та тарні матеріали, транспортування готової продукції, рекламу, витрати на маркетингові дослідження та інші. Витрати на збут складають 2 % від виробничої собівартості і становлять 324 гривні та 312 гривень для базового та нового виробу, відповідно.

Повна собівартість є сумою виробничої собівартості, адміністративних витрат та витрат на збут. Вона складає 20134 гривні та 19412 гривень для базового та нового виробу.

Прибуток складає 30% від повної собівартості і складає 6040 гривень та 5 824 гривні для базового та нового виробу, відповідно.

Оптова ціну визначають як суму повної собівартості та прибутку. Оптова ціна становить 26174 гривні та 25236 гривень для базового та нового виробу.

Податок на додану вартість згідно законодавства становить 20 % від оптової ціни і становить 5235 гривень та 5047 гривень для базового та нового виробу, відповідно.

Ціну продажу виробу розраховується як суму оптової ціни та податку на додану вартість. Ціна продажу виробу становить 31409 гривень та 30283 гривні для базового та нового виробу, відповідно.

Калькуляція собівартості та ціни продукції наведена в таблиці 5.4.

Таблиця 5.5 – Калькуляція собівартості термообробки однієї садки

Статті витрат	Базова технологія, вартість грн.	Нова технологія, вартість грн.
1	2	3
1. Сировина і основні матеріали	10500	8400
2. Основна заробітна плата основних виробничих робітників	720	510
3. Додаткова заробітна плата основних виробничих робітників	288	282
4. Відрахування на соціальні заходи з заробітної плати основних виробничих робітників	244	196,24
4. Загальновиробничі витрати	2 880	2820
5. Собівартість виробнича	16 210	15575
6. Адміністративні витрати	3 600	3525
7. Витрати на збут	324	312
8. Собівартість повна	20134	19412
9. Прибуток	6040	5824
10. Ціна оптова	26174	25236
11. Податок на додану вартість	5235	5047
12. Ціна продажу	31409	30283
13. Змінні витрати	13654	13221
14. Постійні витрати	6480	6345

5.2 Економічна ефективність

Розраховується економічна ефективність інноваційного проекту за такими показниками:

- економія витрат в виробництві;
- економія експлуатаційних витрат;
- питомі показники ефективності;
- беззбитковість виробництва;
- термін окупності додаткових капітальних вкладень;
- оцінка доцільності інвестицій (капітальних вкладень) в

інноваційний проект.

Економія витрат в виробництві розраховується на основі економії конкретних видів матеріальних, трудових та інших ресурсів. Розрахунок економії витрат наведено в таблиці 5.5.

Таблиця 5.6 – Економія витрат на виробництво

Найменування показника	Норма використання		Ціна, грн.	Вартість, грн.		Економія, грн.
	базовий виріб	новий виріб		Р6М5	Р3АМЗФ2	
Матеріал	300 кг	300 кг	35/28 грн./кг	10500	8400	0
Електроенергія промислова	143 кВт×год	143 кВт×год	2,68 грн./кВт×год.	383	383	0
Мінеральна олія (гартівна)	10 л	10 л	48 грн./л	480	480	0
Гартування	2/1	0,25 год.	60 грн./год.	120	60	0
Відпуск	10/10,5	7,5 год.	60 грн./год.	600	450	0
Разом	—	—	—	12083	9773	231

						0
--	--	--	--	--	--	---

$$E = C_b \times K - C_n = 20134 \times 1,4 - 19412 = 8775,6 \text{ грн.}$$

де E – економічний ефект від впровадження нової технології термообробки; C_b – собівартість базового виробу, грн.; C_n – собівартість нового виробу, грн.; $K = 1,4$ – коефіцієнт експлуатаційного ресурсу.

Оскільки за 1 раз обробляється 300 деталей то змінні витрати на одиницю продукції становлять $13221 / 300 = 44,07$ грн. /од. продукції, а ціна відповідно становить $30283 / 300 = 100,94$ грн. /од. продукції.

Економічний ефект від впровадження нової сталі становить 8775,6 грн.

ВИСНОВКИ

1. Визначені особливості впливу легування та термічної обробки на структуроутворення швидкорізальних сталей. Розглянуто сутність економного легування, та визначенно перспективність використання.

2. Встановлені залежності від відповідних етапів термічної обробки, які призводять до зміни концентрації карбіутворювальних елементів в твердому розчині сталей.

3. Виявлено, що введення ніобію спричиняє зміну типу надлишкових фаз, існуючі карбіди додатково легуються титаном та ніобієм.

4. Встановлене комплексний вплив титану та ніобію на якісний склад карбідів та зміни їх легування.

5. За допомогою натурних випробувань виявлені задовільні результати стійкості різального інструменту.

6. Розглянуті питання з охорони праці.

7. Розраховано економічний ефект від застосування сталі РЗАМЗФ2Б1Т1 в якості заміни класичної Р6М5.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Солнцев Ю.П. Веселов В.А., Демьянцев В.П. Металловедение и технология. М.: Металлургия, 1988, 512с.
2. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1977. 407с.
3. http://metallicheckiy-portal.ru/marki_metallov
4. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1986. 542с.
5. Попова Л.Е., Попов А.Л. Диаграммы превращения аустенита в сталях и β -раствора в сплавах титана: Справочник. М.: Металлургия, 1991. 504с.
6. Позняк Л.А. Инструментальные стали. К.: Вища школа, 1996. 487с.
7. Фиргер И.В. Термическая обработка сплавов. Ленинград.: Машиностроение, 1982. 304с.
8. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. М.: Металлургия, 1983. 537 с.
9. Справочник по инструментальным сталям. Под общей ред. Ю.Ф. Тернового. Харьков: Металика, 2008, 224 с.
10. Астапова А.А. Производство спеченных инструментальных сталей из порошков в смеси с тугоплавкими карбидами. *Обзор литературы. УкрНИИ Спецсталь*, 1974. Т.1. 42с.
11. Быков И.Д., Дубов Т.Л., Бокий Ю.Ф. Опыт изготовления инструмента из карбидостали. *Порошковая металлургия*. 1984. №5. С. 40–44.
12. Гуревич Ю.Г., Нарва В.К., Фраге Н.Р. Карбидостали. М.: Металлургия, 1988. 144 с.
13. Кюбарсепп Я.П. Твердые сплавы со стальной связкой. Таллин: Валгус-ТТУ, 1991. 164 с.

14. TiC-tool steel composite with improved wear at high temperatures. *Metal Powder Rept.* 1988. №3. P. 202.
15. Кипарисов С.С., Нарва В.К., Даляева Л.И. Новые износостойкие металлокерамические материалы с использованием карбида титана. М.: Цветметинформация, 1972. 60 с.
16. Кипарисов С.С., Нарва В.К., Даляева Л.И. Формирование структуры сплавов карбид титана – сталь при спекании: Сообщение 1. *Порошковая металлургия.* 1976. №6. С. 67–72.
17. Кипарисов С.С., Нарва В.К., Даляева Л.И. Формирование структуры сплавов карбид титана – сталь при спекании: Сообщение 2. *Порошковая металлургия.* 1976. №10. С. 72–76
18. Середа Н.Н., Ковальченко М.С. Структура и свойства износостойких материалов на основе карбида титана. *Спеченные износостойкие материалы. Науч.тр.МИСиС.* 1977. №99. С. 53–56
19. Баглюк Г.А., Макарова Г.Е., Позняк Л.А. Развитие работ в области горячей штамповки пористых порошковых заготовок. Киев: ИПМ АН УССР, 1986. 27 с.
20. Кремнев Л. С. Низколегированные безвольфрамовые быстрорежущие стали 11М5Ф и 11М5ФЮ и их термическая обработка. *Металловедение и термическая обработка металлов.* 1987. №. 11. С. 56.
21. Кутепов С. Н., Калинин А. А., Гвоздев А. Е. Современные стали для быстрорежущей обработки металлических сплавов. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки.* 2018. №.10.
22. Болховитинов Н. Ф. Металловедение и термическая обработка. М.:Машиностроение. 1965.
23. Алимов В. И., Афанасьева М. В., Лобкова Ю. В. Мониторинг причинвыхода из строя быстрорежущего инструмента при производстве труб. 2009.

24. Адашкин А. М., Кремнев Л. С., Сапронов И. Ю. Быстрорежущие стали нового поколения. *Перспективные материалы*. 2014. №. 2. С. 48-54
25. Крукович В. В., Борисова Л. Г. Изменение структур и свойств быстрорежущих сталей в результате легирования и сложной термической обработки. *Научный форум. Сибирь*. 2016. Т. 2. №. 1. С. 19-20
26. Ловшенко Ф. Г., Хабибуллин А. И. Металловедение специальных сталей. Ч. 2. 2016.
27. Русина К. С. Технологические процессы изготовления горячекатаных прутков из быстрорежущей стали : дис. – Южно-Уральский государственный университет, 2017.
28. Martsukov A. A., Mamedov R. K. Means of improving the efficiency of atomic–emission analysis of metals and alloys . 2016. №. 7 (49) Part 4. С. 34-36
29. Chaus A. S. et al. New high-speed steel for the cast metal-cutting tool. *Litiyo i Metallurgiya (Foundry production and metallurgy)*. 2019. №. 2. С. 110-117.
30. Вирич В. В. Эволюция и перспективы развития дисковых отрезных фрез. *Вісник Хмельницького національного університету. Хмельницький: ХНУ*. 2010. №. 5. С. 120-126.
31. Рубинцев С.А. Основы учения о резании металлов и режущий инструмент/ Рубинцев С.А., Левант Г.В и др. М.: Машиностроение, 1968. 258 с.
32. Родин П. Р. Металлорежущие инструменты. – М.: Высшая школа, 1986. – 482 с.
33. Ординарцев И.А. Справочник инструментальщика. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с
34. . Кондрашина А. В., Кузовлева О. В., Гвоздев А. Е. Деформация, структурообразование и разрушение стали Р6М5 // *Деформация и разрушение материалов*. 2007. №. 8. С. 11-16.

35. Хараев Ю. П. Термоциклическая закалка литой быстрорежущей сталі. *Ползуновский альманах*. 2004. №. 4. С. 54-55.
36. Космынин А. В. и др. Исследование эксплуатационных свойств инструмента из быстрорежущих сталей. *Современные наукоемкие технологии*. 2012. №. 10. С. 67-69.
37. Чаус А. С., Рудницкий Ф. И. Структура и свойства быстрорежущей сталі Р6М5. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2003. №. 4. С. 10.
38. Жолдошов Б. М., Муратов В. С., Кенис М. С. Влияние скорости охлаждения на структуру и свойства быстрорежущей сталі Р6М5. *45-летие образования ОшТУ: Тр. междунар. техн. конф* 2009. С. 65.
39. Манукян Н. В., Петросян Х. Л., Агбалян С. Г. Исследование термической обработки быстрорежущей сталі Р6М5 . *Сталь*. – 2002. – №. 5. – С. 58-63.
40. Христофорова Т. А., Кузьменко Е. А. Карбидные превращения при первом отпуске сталі Р6М5 : дис. Национальный технический университет" Харьковский политехнический институт", 2017.
41. Рудницкий Ф. И. Технологические факторы эксплуатационной стойкости литого инструмента. *Литьё и металлургия*. – 2005. – №. 2-1 (34).
42. Горелик С.С., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А. Рентгенографический и электроннооптический анализ, М.: Металлургия, 1970. 366 с
43. Самохоцкий А.И., Парфеновская Н.Г. Технология термической обработки металлов. Москва: Машиностроение, 1976. 311 с.
44. Правила улаштування електроустановок : ПУЕ-2017. Намаїну ПУЕ-86 ; чинний з 2017-08-21. – К. : Міненерговугілля України, 2017. 617 с. (Правила).
45. ГОСТ 12.1.019-79 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».

46. ДСТУ 3962-2000 (ГОСТ 12.4.137-2001). Обувь специальная с верхом из кожи для защиты от нефти, нефтепродуктов, кислот, щелочей, нетоксичной и взрывоопасной пыли. Технические условия.

47. ГОСТ 12.4.103-83 «Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук. Классификация» .

48. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів : ДСНіП 3.3.6.096-2002. Чинний від 2003-03-13.К.: МОЗ України, 2003.URL:<http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03>. – (Державні санітарні норми).

49. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

50. Опалення, вентиляція та кондиціонування : ДБН В.2.5- 67:2013. На заміну СНиП 2.04.05-91 ; крім розділу 5 та додатка 22. ; чинний від 2014-01-01.К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с. (Державні будівельні норми України).

51. СанПіН 2.2.2.542-96 «Гігієнічні вимоги для відео дисплейних терміналах, персональними електророзрахунковими машинами і організації робіт».

52. Системи протипожежного захисту: ДБН В.2.5-56:2014. На заміну ДБН В.2.5-56:2010 ; СНиП 2.04.05-91 (розділи 5 та 22) ; чинний від 2015-07-01. К. : Мінрегіон України, 2014.191 с. (Державні будівельні норми).