

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

« 17 » 12 2020 року

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

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розподіл легувальних елементів в карбідах економнолегованих швидкорізальних сталей

керівник проєкту (роботи) Глотка Олександр Анатолійович, доцент каф.ФМ, к.т.н
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «02» 11 2020 року №

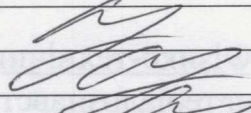
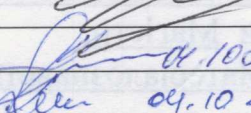
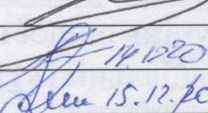
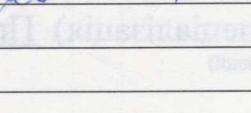
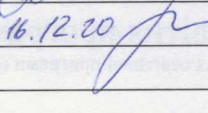
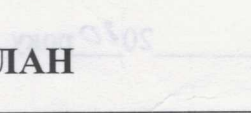
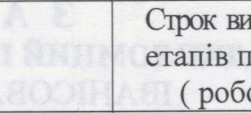
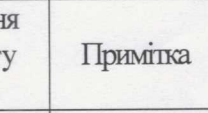
2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 17.12.2020

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 (середнє значення з трьох випробувань)

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	Глотка О.А		
2	Глотка О.А		
3	Глотка О.А		
4	Нестеров О.В		
5	Круглікова В.В		
НК	Ткач Д.В		

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	10.10.2020	
2	Матеріали та методики досліджень	26.10.2020	
3	Експериментальна частина	05.11.2020	
4	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	16.11.2020	
5	Економічна частина	10.12.2020	

Студент(ка)
(підпис)

(прізвище та ініціали)

11808 Іванісова В.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)

 Глотка О.А.

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 Розподіл легувальних елементів в карбідах економнолегованих швидкорізальних сталей

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи ІФз219м

Спеціальності 132 Матеріалознавство

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

Іванісова В.О

(прізвище та ініціали)

Керівник Глотка О.А

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

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

Об'єкт дослідження: економнолеговані швидкорізальні сталі типу РЗАМЗФ2Б1Т.

Предмет дослідження – евтектичні карбіди в економнолегованих швидкорізальних сталях.

Мета роботи: дослідити властивості та морфологію евтектичних карбідів дослідних сталей РЗАМЗФ2Б1Т як заміну типових сталей типу Р6М5.

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

Вступ.....	5
1 Аналітичний огляд	6
1.1 Загальні відомості про швидкорізальні сталі.....	6
1.2 Вплив легувальних елементів на властивості швидкорізальних сталей..	7
1.3 Види сталей та умови їх експлуатації.....	15
1.3.1 Швидкорізальні сталі помірної теплостійкості	15
1.3.2 Тверді сплави.....	29
2 Матеріали та методики досліджень.....	32
2.1 Хімічний склад та технологія отримання сплаву	32
2.2 Методика виготовлення зразків для дослідження.....	33
2.3 Дослідження мікроструктури	34
2.3.1 Принцип роботи РЕМ.....	34
2.3.2 Метод РСМА	38
3 Експериментальна частина	40
3.1 Дослідження економнолегованих швидкорізальних сталей	40
3.2 Технологія виготовлення інструментів зі сталі РЗАМЗФ2Б1Т1	48
4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	55
4.1 Аналіз потенційних небезпек	55
4.2 Заходи по забезпеченню безпеки	56
4.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	60
4.4 Заходи з пожежної безпеки	64

4.5 Заходи забезпечення безпеки в умовах надзвичайних ситуацій.....	
5 Економічна ефективність роботи	70
5.1 Тенденції розвитку світового ринку технологій.....	70
5.2 Техніко-економічні розрахунки	72
5.2 Економічна ефективність	79
Висновки	81
Перелік посилань.....	82
Додаток А.....	87

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 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Загальні відомості про швидкорізальні сталі

Швидкорізальні сталі є одними з основних інструментальних матеріалів. З них виготовляють до 60% різального інструменту.

Процес різання супроводжується виділенням великої кількості тепла та впливом великих контактних напружень при інтенсивному терті між інструментом, заготовкою та стружкою, що обумовлює знос різального інструменту.

При дії контактних навантажень і високих температур в зоні різання виникають впливи сили молекулярного зчеплення - адгезія, що виражається в злипанні матеріалу інструменту зі стружкою. Що супроводжується викиданням окремих частин матеріалу інструменту стружкою, що прискорює процес його зношування.

При обробці без мастильно-охолоджувальних рідин переважаючим стає абразивне зношування. Внаслідок дії зазначених факторів відбувається знос різальних інструментів по передній і по задній поверхні.

Ступінь і характер зносу різального інструменту істотно впливають на витрату різального інструменту, якість обробки і розміри деталей.

Різальна частина інструментів працює в умовах дуже високих температур, на неї діють високі статичні та динамічні навантаження. Тому інструментальні матеріали повинні охоплювати такий комплекс властивостей: твердість, міцність, зносостійкість, теплостійкість і теплопровідність.

Твердість - здатність матеріалу чинити опір впровадженню в нього іншого тіла - дозволяє ріжучого інструменту виробляти роботу по відділенню стружки.

В'язкість - здатність матеріалу чинити опір динамічним ударним навантаженням.

Міцність - здатність чинити опір діючим навантаженням на розтягнення, кручення, згин, стиск тощо.

Зносостійкість - здатність матеріалу чинити опір зношуванню. Чим вище зносостійкість, тим довше різальний інструмент буде зберігати свою гостроту і розміри.

Теплостійкість - властивість матеріалу зберігати свою твердість при високих температурах.

Теплопровідність - здатність відводити тепло - сприяє зниженню температури в зоні різання, поліпшенню умов роботи різального інструменту [1-3].

Зазвичай сталі для різальних інструментів мають такі властивості:

- високу твердість, частіше 63...66 HRC, а для різання важкооброблюваних матеріалів і більше: 66...69 HRC (при обов'язковій доведенні різальних граней ділянок, що зазнають підвищені напруги). Така ж висока твердість, але в тонкому поверхневому шарі (отримується шляхом ціанування або азотування), повинна бути у більшості інструментів і для різання конструкційних сталей і чавунів;

- високу міцність і опір малій і пластичної деформації, а інструментів - можливо кращу в'язкість;

- теплостійкість, якщо різання виконується з підвищеною швидкістю або по важкооброблюваних матеріалів [4].

1.2 Вплив легувальних елементів на властивості швидкорізальних сталей

Швидкорізальні сталі мають високу теплостійкість (червоностійкість), тобто здатність зберігати мартенситну структуру, і відповідно високу твердість, міцність і зносостійкість при підвищених температурах, що виникають в ріжучій кромці при різанні з великою швидкістю. Ці сталі

зберігають мартенситну структуру при нагріванні до 600...620°C. Тому застосування швидкорізальних сталей дозволяє значно підвищити швидкість різання (в 2...4 рази) і стійкість інструментів (в 10...30 разів) в порівнянні зі сталями, що не володіють теплостійкістю.

Основними легувальними елементами швидкорізальних сталей, що забезпечують їх теплостійкість, є в першу чергу вольфрам і його хімічний аналог - молібден. Теплостійкість підвищується в присутності ванадію і кобальту.

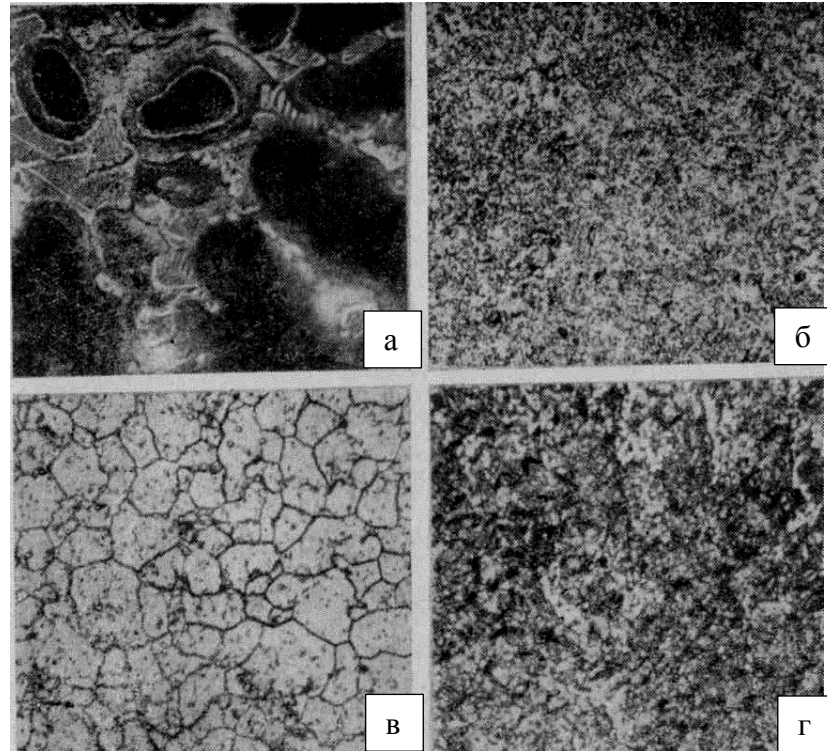
Швидкорізальної сталі відносяться до карбідного (ледебуритного) класу. Їх фазовий склад в відпаленого стані являє собою легований ферит і карбіди M_6C , $M_{23}C_6$, MC , M_3C . Основним карбідом швидкорізальної сталі є карбід M_6C , в якому також розчинений ванадій. У фериті розчинена велика частина хрому; майже весь вольфрам (молібден) і ванадій знаходяться в карбідах.

У структурі литої швидкорізальної сталі присутня складна евтектика, що нагадує ледебурит (рис. 1.1, а) і розташовується по границях зерен. В результаті гарячої механічної обробки сітка евтектики дробиться. У сильно деформованій швидкорізальної сталі евтектичних і вторинні карбіди розподілені рівномірно в основний матриці (рис. 1.1, б), що представляє після відпалу сорбітоподібного перліту [2].

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

Вплив вольфраму. Задовільні вторинна твердість і теплостійкість мають місце вже при вмісті 7...8% вольфраму, проте в карбідних фазах цих сталей велика кількість карбіду $M_{23}C_6$ і недостатньо M_6C , що спричиняє при гартуванні виникнення великого зерна і різке зниження міцності та в'язкості. При збільшенні вмісту вольфраму до 12...13% зростає кількість карбідів M_6C ; що в свою чергу помітно покращує стійкість проти перегрівання, але параметр ґратки карбіду і склад його при цьому не змінюються. Підвищення вмісту вольфраму з 12...13 до 18...20% сприяє різкому зростанню параметра

ґратки карбїду МС, що свїдчить про зростання концентрації вольфраму в карбїду і збільшенні в його ґратці вакансій, які заміщаються атомами вольфраму.



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]

При збільшенні вмісту вольфраму змінюється і концентрація ванадію в розчині. Вона максимальна і зростає майже в 2 рази при підвищенні вмісту вольфраму з 6 до 13%, що викликано розчиненням великої кількості карбїдів M_6C , що містять ванадій. При подальшому підвищенні вмісту вольфраму концентрація ванадію в мартенситі зменшується через зниження його вмісту в карбїді M_6C і переходу частини в карбїд МС. Ці зміни в складі мартенситу обумовлюють теплостійкість і інтенсивність твердіння, яке протікає однаково інтенсивна в сталях з 12...20% вольфраму, але в сталях з 12...13% - внаслідок більшої концентрації в мартенситі ванадію, а при 18...20% W - вольфраму.

Вплив молібдену. Вплив молібдену і вольфраму, є хімічними аналогами, на структурні перетворення, на основні властивості майже однаковий. Температура $\alpha \leftrightarrow \gamma$ -перетворення у молібденових сталей трохи нижче, ніж у вольфрамових.

Після утворення δ - (γ -) фази кристалізація молібденових і вольфрамових сталей протікає за перектектичною реакцією, проте температурна область цього перетворення у молібденових сталей ширше, вона протікає повніше, внаслідок цього до закінчення перетворення зберігається менше рідкої фази. Частина, де залишилася рідина кристалізується при більш низьких температурах ($\sim$ на 50°C) в більш тонку евтектику, тому в деформованій молібденовій сталі карбіди дисперсні, що сприятливо позначається на механічних властивостях.

Молібден, як правило, присутній у всіх марках швидкорізальних сталей в кількостях близько 0,3...1,0%. Це пов'язано з використанням в шихті як відходів вольфрамо-молібденових сталей, так і ферито-вольфрамових, що містить молібден. Присутність молібдену має позитивний вплив на властивості сталей: так, 1,0% Мо підвищує ударну в'язкість на 15...20% і міцність - на 5...8% без зміни теплостійкості.

Температури $\alpha \rightarrow \gamma$ - перетворення в молібденових сталей є трохи нижчим, ніж у вольфрамових.

Кількість карбідної фази у вольфрамових і молібденових сталях приблизно однакова. У відсотках за масою (вона менше ніж в сталях з молібденом) через його меншу густину і становить після відпалу в сталі Р6М5 = 22%.

Молібден за впливом на теплостійкість замінює вольфрам у співвідношенні

Мо : W = 1: (1,4...1,5), виходячи з кількості вольфраму й молібдену, необхідного для утворення карбіду M_6C ($\text{Fe}_4\text{M}_2\text{C}$) як основою карбідної фази.

Евтектика утворюється при температурі 1275°C у сталі з 5% Мо та 6% W. Таким чином температури гартування молібденових сталей повинні бути нижчими, ніж у вольфрамкових.

Вплив хрому. Хром є обов'язковим легувальним елементом швидкорізальних інструментальних сталей, як середньо- так високолегованих, його вплив в інструментальних сталях багатогранний і досить складний.

У відпаленої швидкорізальної сталі він присутній в фериті, в карбіді M_6C і утворює карбід M_{23}C_6 , який повністю розчиняється при відносно низьких температурах гарту, що сприяє насиченню твердого розчину вуглецем і хромом, не впливаючи на розмір зерна. Сприяючи більш повному розчиненню в аустениті карбід M_6C , хром при вмісті 3,5...4,0% забезпечує необхідні загартуваність і прогартуваність.

Карбід M_{23}C_6 розчиняється повністю при відносно низьких температурах гартування, що призводить до насичення твердого розчину вуглецем і хромом, не впливаючи на величину зерна. Хром сприяє також більш повному розчиненню в аустениті карбід M_6C . Тому хром забезпечує підвищені загартуваність і прогартуваність швидкорізальних сталей. У процесі відпуску при $450-525^{\circ}\text{C}$ хром частково виділяється з мартенситу, підсилюючи дисперсійне твердіння, і частково залишається в α -розчині, затримуючи знеміцнення при більш високому нагріванні. Тому при вмісті 3...4 % Cr не дуже підвищується вторинна твердість (рис.1.2).

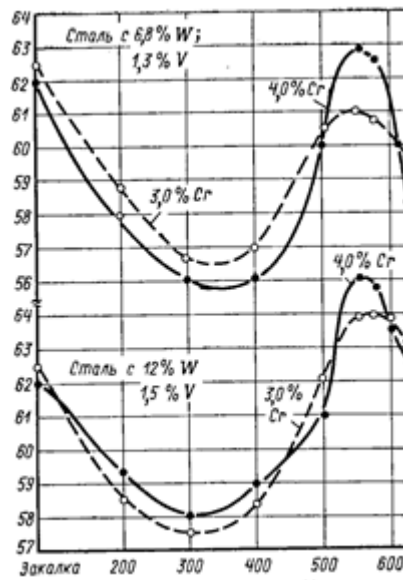


Рисунок 1.2 - Вплив хрому на твердість швидкорізальних сталей

Додавати кількість хрому в кількості $>4,2...4,5\%$ недоречно. Беручи участь в утворенні карбіду, що виділяється при відпусканні, хром пришвидшує його коагуляцію при більш низькій температурі, але що знижує теплостійкість. Хром підсилює, крім того, карбідну неоднорідність: вплив 1% Cr внаслідок його меншої атомної ваги близький до впливу $3...4\%$ W.

У зв'язку із цим вміст хрому визначають в залежності від вмісту вольфраму.

Хром, окрім всього, підсилює карбідну неоднорідність; вплив 1% Cr внаслідок його меншої атомної маси близький до впливу $3,0...4,0\%$ W, тому вміст хрому необхідно визначати в залежності від вмісту вольфраму. Так, у сталі з 18% W і $0,7...1,0\%$ V необхідні прогартованість і загартованість досягаються при $3,8...4,4\%$ Cr, а у сталі з $12...13\%$ W - при $3,2...3,6\%$ Cr. В останній менше карбідів M_6C , в яких присутній хром. Крім того, в карбіді M_6C з 12% W менше вольфраму, що полегшує його розчинення при нагріванні для гартування.

Вплив ванадію. При вмісті до $1,8...1,9\%$, характерному для сталей P18, P12, P6M5 і інших, ванадій утворює лише незначну кількість карбіду MC і присутній головним чином в карбідах $M_{23}C_6$ і M_6C . У процесі розчинення цих карбідів при нагріванні для гартування ванадій переходить в γ -фазу. При відпусканні він виділяється у вигляді карбіду MC (з цієї причини

здатність до шліфування загартованої сталі краще, ніж відпущеної), що підвищує вторинну твердість і теплостійкість, але знижує ударну в'язкість.

Збільшення вмісту ванадію (до 4,0...5,0%) призводить до різкого збільшення кількості карбиду MC , що, з одного боку, істотно підвищує зносостійкість сталі, а з іншого - знижує міцність, ударну в'язкість і погіршує здатність до шліфування та токарного оброблення.

Вплив кобальту. Кобальт - це єдиний легувальний елемент швидкорізальних сталей, найбільш значно підвищує теплостійкість (до 645-650 °C) і вторинну твердість (до 67-70 HRC). Кобальтоміські сталі мають більш високу теплопровідність, тому в однакових умовах різання температура різальної кромки інструментів з кобальтомісткіи сталі на 30-70 °C нижче.

Кобальт :

- посилює стійкість твердого розчину проти знеміцнення при нагріванні, підвищуючи температуру початку $\alpha \rightarrow \gamma$ – перетворення;
- уповільнює коагуляцію карбідних частинок, які виділяються з мартенситу; це підвищує теплостійкість, але знижує міцність та в'язкість;
- впливає на деякі технологічні властивості – гаряча пластичність та ковкість знижуються з підвищенням вмісту кобальту;
- значно підвищує кількість залишкового аустеніту у загартованій сталі та у зв'язку з цим знижує її твердість на HRC 1-2;
- посилює знеуглецювання як при нагріванні у печі, так і у розплавлених солях і тим сильніше, чим більше кобальту у сталі.

Кобальт, на відміну від вольфраму (молібдену), ванадію і хрому, не утворює карбідів; він присутній в α - і γ -фазах, а також в карбіді M_6C пропорційно його вмісту в сталі. У карбіді M_6C кобальт заміщує частину атомів заліза. Таким чином, вплив його в швидкорізальних сталях зовсім інакший ніж у інших легувальних елементів, і він достатньо складний. Так, кобальт підсилює стійкість твердого розчину проти знеміцнення при нагріванні, підвищуючи температуру початку $\alpha \leftrightarrow \gamma$ -перетворення, що

спостерігається при підвищенні вмісту до 5,0...6,0% Со. Присутність кобальту сприяє більш повному виділенню вольфраму і молібдену з мартенситу при відпустці через створюваного їм, мабуть, зменшення розчинності цих елементів в α -фазі, що підсилює дисперсійне твердіння, підвищує вторинну твердість і теплопровідність, але трохи знижує міцність і в'язкість.

Кобальт впливає і на деякі технологічні характеристики. Збільшення його концентрації знижує гарячу пластичність сталей, сприяє збільшенню знеуглецювання при нагріванні в печах, соляних ваннах і тим сильніше, чим більше міститься кобальту в сталі.

Присутність кобальту в сталях сприяє, як вказувалося, підвищенню їх теплостійкості до 645...650°C за рахунок зростання температур $\alpha \leftrightarrow \gamma$ - перетворення, утруднення коагуляції карбідів [3].

Вплив малих кількостей молібдену у вольфрамових сталях.

Молібден може бути присутнім у кількості 0,5...1,0%. Це викликано зростаючим застосуванням і переплавом вольфрамомолібденових сталей і використанням феровольфраму, що містить молібден. Співвідношення Мо : W $\sim$ 1:1,4+ 1,5 .

Молібден ($\sim$ 1%) поліпшує в'язкість (на 15-20%) і міцність (на 5-8%) у випадку збереження кількості вольфраму незмінним, а також і при зменшенні його вмісту.

Теплостійкість сталі залишається незмінною або навіть трішки зростає, якщо молібден уводиться без зниження вольфраму. Вона не змінюється також, якщо вміст вольфраму зменшують у співвідношенні Мо: W $\sim$ 1 : (1,4-1,5). Однак при заміні вольфраму в співвідношенні Мо: W $\sim$ 1:2 теплостійкість небагато знижується: на 3...5°C.

Вплив вуглецю. Його вміст у сталях помірної теплостійкості: 0,7 - 0,95%. Більше вуглецю в цих межах установлюють у сталях з підвищеним змістом ванадію; це необхідно для утворення карбиду MC без зайвого збідніння їм аустеніту (мартенситу) і погіршення прогартовуваності.

1.3 Види сталей та умови їх експлуатації

В залежності від хімічного складу, а отже, і рівня основних властивостей швидкорізальні сталі підрозділяють на сталі помірної і підвищеної теплостійкості. Якщо вміст ванадію не перевищує 2%, їх відносять до швидкорізальних сталей нормальної теплостійкості. Це сталі P18, P9, P6M5.

Швидкорізальні сталі з більш високим вмістом ванадію, а також додатково леговані кобальтом відносять до сталей підвищеної теплостійкості (P12ФЗ, P6M5ФЗ, P18K5Ф2, P9K5, P6M5K5, P9M4K8 тощо).

У порівнянні зі сталями нормальної продуктивності високованадієві сталі підвищеної теплостійкості мають в основному підвищену зносостійкість завдяки наявності високотвердих карбідів типу MC, а кобальтовмісні сталі - більш високими вторинною твердістю, теплостійкістю і теплопровідністю.

До групи швидкорізальних сталей підвищеної продуктивності слід віднести і швидкорізальні дисперсійнотвердіючі сплави з інтерметалідним зміцненням. Їх висока теплостійкість і різальні властивості забезпечуються високими температурами мартенситного перетворення і зміцненням внаслідок виділення при відпусканні інтерметалідів, що мають більш високу стійкість до коагуляції при нагріванні, ніж карбіди. Найбільшого поширення набув сплав B11M7K23 (ЭП831).

1.3.1 Швидкорізальні сталі помірної теплостійкості

Найбільш відомі швидкорізальні сталі, що мають приблизно однакову теплостійкість і різальні властивості наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Хімічний склад сталей для різальних інструментів (ГОСТ19265-73)

Марка сталі	Масова частка елементу, %								
	C	Cr	W	V	Co	Mo	Si	Mn	Ni
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P9	0,85 - 0,95	3,8- 4,4	8,5- 9,5	2,3- 2,7	≤0,5	≤1	≤0,5	≤0,5	≤0,4

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P18	0,7- 0,88	3,8- 4,4	17,0- 18,5	1- 1,4	0,5	1	≤0,5	≤0,5	≤0,4
P6M5	0,82- 0,9	3,8- 4,4	5,5- 6,5	1,7- 2,1	≤0,5	4,8- 5,3	≤0,5	≤0,5	≤0,4
P6M5K5	0,86- 0,94	3,8- 4,3	5,7- 6,7	1,7- 2,1	4,7- 5,2	4,8- 5,3	≤0,45	≤0,4	≤0,6

Швидкорізальні сталі відносяться до карбідного (ледебуритного) класу. Їх фазовий склад в відпаленому стані являє собою легований ферит і карбіди M_6C , $M_{23}C_6$, MC , M_3C . Основним карбідом швидкорізальної сталі є карбід M_6C , в якому також розчинений ванадій. У фериті розчинена велика частина хрому; майже весь вольфрам (молібден) і ванадій знаходяться в карбідах.

У зв'язку з різким дефіцитом вольфраму та інших легувальних добавок постає проблема скорочення витрати дорогих швидкорізальних сталей, яку необхідно вирішувати на всіх етапах виробництва, починаючи з металургійних процесів і закінчуючи утилізацією відходів та їх раціональним

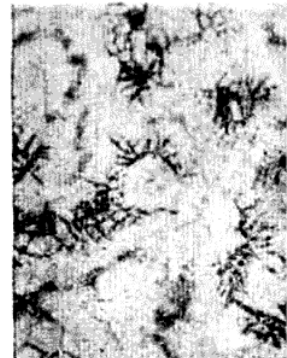
використанням. З 1970 р високовольфрамові сталі, типу Р18, по можливості замінялися більш економічними Вольфрамо-молібденовими сталями типу Р6М5 та сталями Р9.

Сталь Р9. Цю сталь застосовують для виготовлення чистових і напівчистових різальних інструментів простої форми, які не потребують великого обсягу шліфування і призначених для обробки конструкційних матеріалів з міцністю до 900-1000 МПа, для виготовлення свердел методами пластичної деформації, а також деревообробних інструментів.

Сталь Р18 має найбільш високі температури гартування. Її безсумнівні переваги:

- низька чутливість до перегріву, що забезпечує добру стабільність основних властивостей (дрібне зерно зберігається при нагріванні в порівняно широкому температурному інтервалі: 127...129°C);
- задовільна шліфуємість (при 1...1,5% ванадію).

На рисунку 1.2, а наведена мікроструктура сталі Р18 після гартування при температурі 1240°C. Зерно аустеніту дрібне з великою кількістю карбідів. На рис. 1.2, б приведена мікроструктура тієї ж сталі після гарту з 1280 ° С. Ця температура є оптимальною. Зерно аустеніту кілька укрупнилось, але зате кількість карбідів значно зменшилася, що свідчить про отримання більш легованого аустеніту. Більш високий, ніж оптимальний нагрів призводить до значного зростання зерна, до утворення сітки карбідів, а іноді навіть і до оплавлення і появи евтектичною структурної складової (рис.1.3, в).



а

б

в

а – 1240°C (недогрів); б – 1280°C (нормальний нагрів); в – 1340°C (перегрів)

Рисунок 1.3 – Мікроструктура сталі Р18 після гартування, Х500 [4]

Головний недолік сталі - велика кількість надлишкових карбідів, що створює значну карбідну неоднорідність, особливо в прокаті великого профілю. Вона має більш високі міцність і в'язкість в прокаті діаметром менше 40-50 мм, але і в цих перетинах вона поступається сталей з меншою кількістю вольфраму.

З цієї ж причини сталь Р18 має знижену пластичність, що ускладнює виготовлення інструментів методами пластичної деформації. Відносне подовження при 20 °С не перевищує 15 і 17% в прокаті діаметром 50 і 35 мм відповідно.

Поступаючись по червоностійкості (620 °С) і вторинній твердості (HRC 63-65) сталей всіх інших підгруп, Р18 (в профілях до 25-35 мм) перевершує їх по міцності (2800...3500МПа), ударній в'язкості (25...30 Дж / см²).

Діаграма ізотермічного перетворення переохолодженого аустеніту сталі Р18 представлена на рис.1.4.

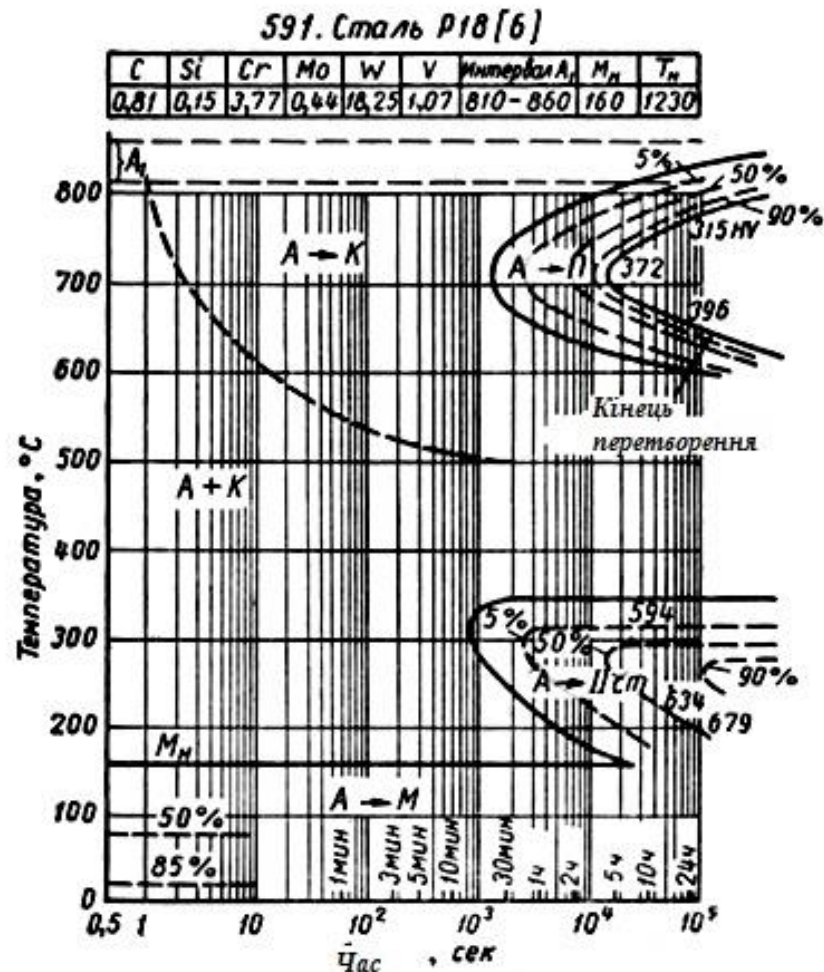
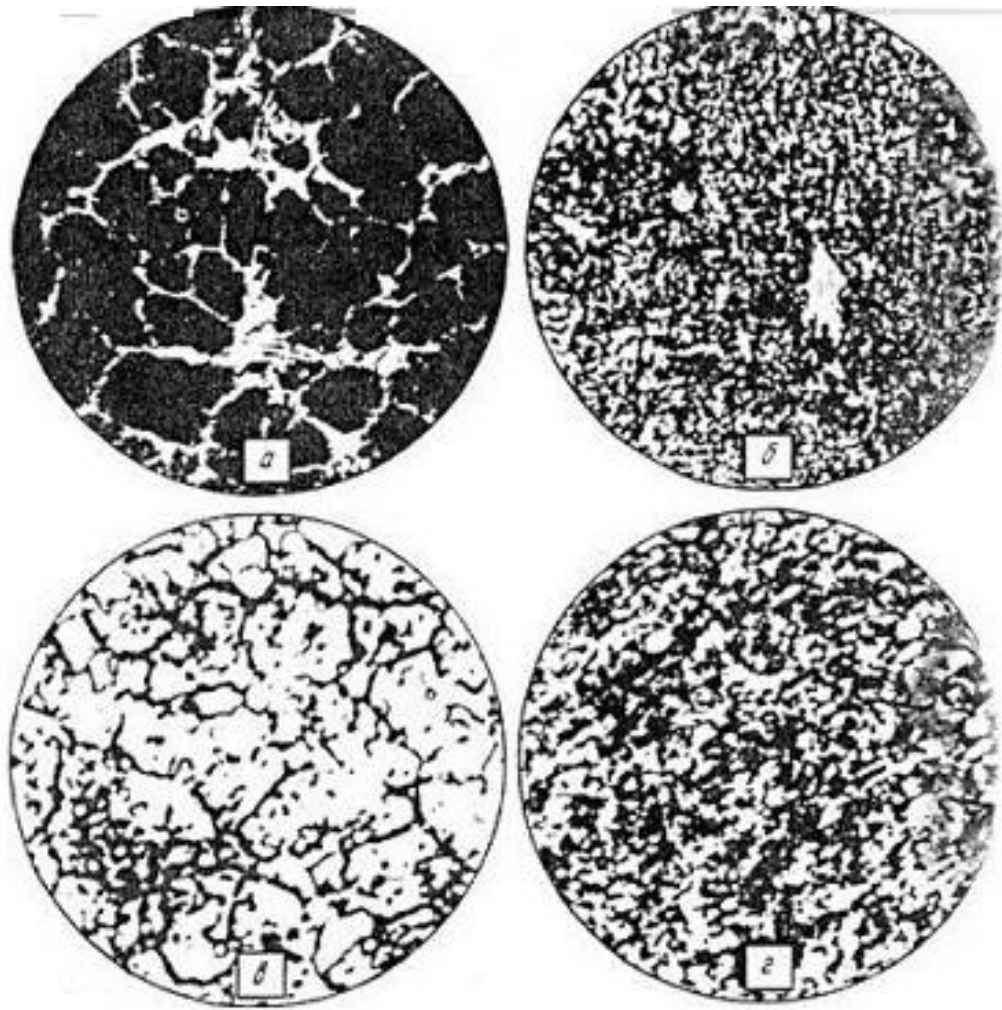


Рисунок 1.4 – Діаграма ізотермічного перетворення переохолодженого аустеніту сталі P18 [5]

Така сталь використовується для виготовлення чорнових н чистових різальних інструментів (фрез, протяжок, мітчиків) При обробці конструкційних сталей з міцністю до 900-1000 МПа. Зважаючи на високий вміст вольфраму доцільно використовувати її лише для виготовлення інструментів високої точності, коли використання сталей інших марок обмежується небезпекою перепалу на різальній кромці при шліфуванні і заточенню.

Сталь Р6М5. Найбільш поширена марка сталі. Має високий запас міцності, який дозволяє їй обробляти тверді матеріали. Швидкість роботи шліфувальних, свердлильних приладів, де її застосовують, при цьому

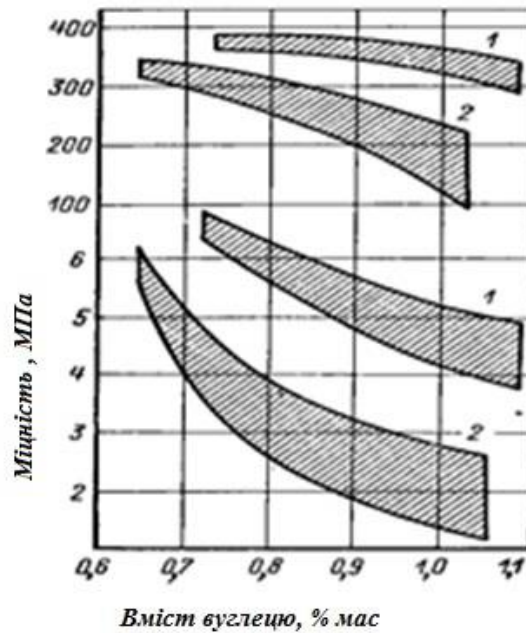
перевершує в рази швидкість, яка досягається використанням звичайних сталей.



а - ливарний стан; б - після кування та відпалу; в - після гартування;
г - після відпускання

Рисунок 1.5 – Мікроструктура швидкорізальної сталі Р6М5

Вплив підвищеного вмісту вуглецю в сталях з молібденом більш сприятливий, ніж у вольфрамових (рис.1.6).



1- сталь типу Р6М5; 2- сталь типу Р9

Рисунок 1.6 - Вплив вуглецю на міцність та в'язкість вольфрамових та вольфрамо-молібденових сталей

У впливі вольфраму та молібдену є також суттєві відмінності. Це спостерігається при відпусканні. В'язкість сталей з молібденом при відпуску 250...300°C зростає значно більше. В'язкість, яка знижується при дисперсійному твердінні, залишається у молібденових сталях вищою, ніж у вольфрамових (рисунок 1.7), оскільки молібден як горофільний елемент перешкоджає виділенню карбідних частинок по границях зерен.

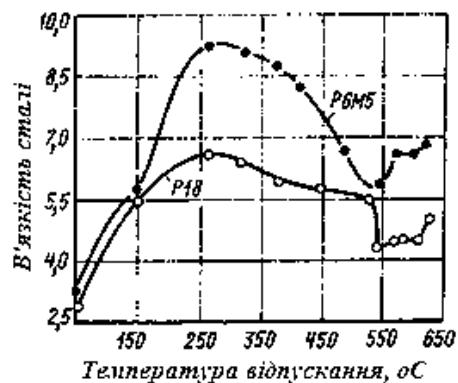


Рисунок 1.7 - В'язкість сталей Р18 та Р6М5 в залежності від температури відпускання (гартування на дрібне зерно)

Теплостійкість сталі Р6М5 близько 620°C . Розміри карбідних частин менші, ніж у сталі Р18. Тому міцність сталі Р6М5 після однакової деформації на 10...15%, а в'язкість на 50...60% вище, ніж у сталі Р18. Ця перевага спостерігається й у великих перетинах.

З підвищенням температури до $500\ldots 600^{\circ}\text{C}$ міцність сталі Р6М5 знижується сильніше, а в'язкість зростає більше, ніж у сталі Р18. Пластичність сталі Р6М5 при температурах деформування вище, ніж у сталі Р18. Твердість після відпалу нижче, що забезпечує трохи кращу оброблюваність різанням. Її шліфуємість гарна й трохи нижча, ніж у сталі Р18.

На рисунку 1.8. показана діаграма ізотермічного розпаду переохолодженого аустеніту сталі Р6М5, яка має два мінімуми стійкості аустеніту:

- перетворення $A \rightarrow \Pi$, при якому мінімальна стійкість переохолодженого аустеніту складає 600 с при температурі 740°C
- перетворення $A \rightarrow Б$, при якому мінімальна стійкість переохолодженого аустеніту складає 1500 с.

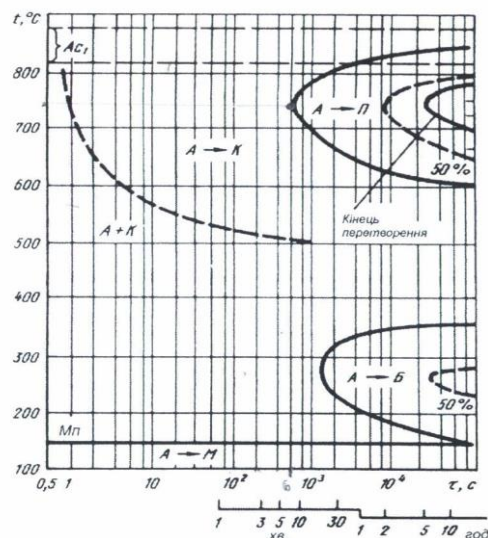


Рисунок 1.8 - Діаграма ізотермічного перетворення переохолодженого аустеніту сталі Р6М5

Швидкорізальна сталь Р6М5 у рівноваговому стані відноситься до ледебуритного мартенситного класу, а у нормалізованому - до мартенситного класу. Теплостійкість цієї сталі 620°C. З підвищенням температури до 500...600°C міцність сталі Р6М5 знижується сильніше, а в'язкість зростає. Твердість після відпалу знижується, що забезпечує трохи кращу оброблюваність різанням.

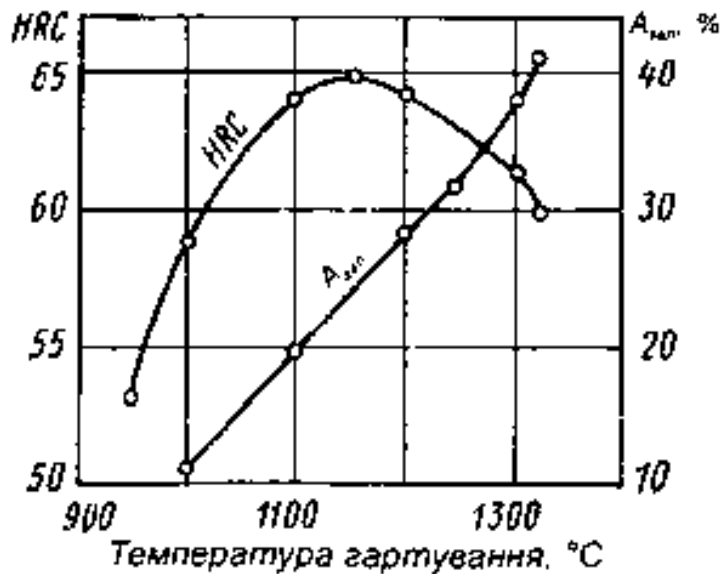
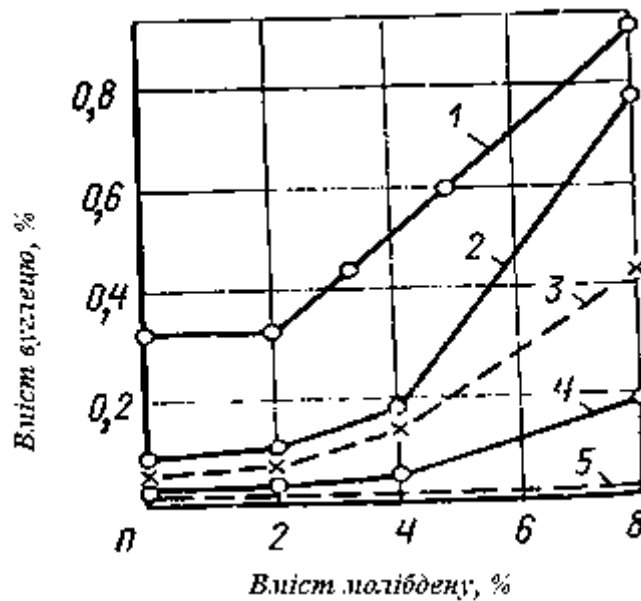


Рисунок 1.9 - Твердість та кількість залишкового аустеніту в швидкорізальній сталі Р6М5 в залежності від температури гартування

У сталі Р6М5 з 5% Мо зберігаються (але в меншому ступені) недоліки, внесені молібденом. Вона чутлива до знеуглецювання.

Крім того, в сталях окремих плавів при гартуванні з температур, які прийняті як оптимальні, більш крупне зерно та знижена міцність.

Також у Р6М5 менша карбідна неоднорідність ніж у сталі Р18.



1- в електропечі; 2- у полуменій печі; 3- у нерозкисленій ванні BaCl₂; 4- у ванні BaCl₂, яка розкислена 3% бури; 5- у ванні BaCl₂, яка розкислена 2% MgF₂ (1150°C, 15 хв.)

Рисунок 1.10 - Вплив молібдену на знеуглецювання швидкорізальної сталі Р6М5

Крім того, в сталях окремих плавок при гартуванні з температур, які прийняті як оптимальні спостерігається, більш крупне зерно та знижена міцність (рисунок 1.11). Таке явище спостерігається головним чином при вмісті вуглецю, близькому до верхньої границі для марки тому що вуглець знижує температуру гартування. Для підвищення стабільності властивостей треба встановлювати вміст вуглецю в цих сталях у більш вузьких межах : 0,7...0,8%. Густина відпаленої сталі Р6М5 8100кг/м³

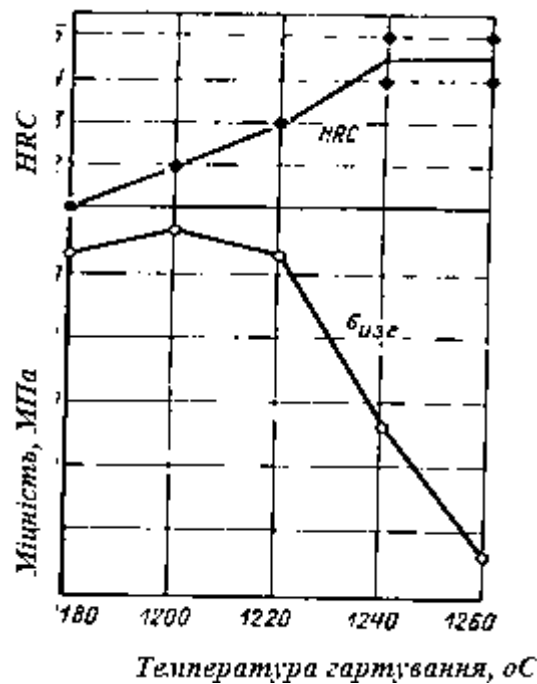


Рисунок 1.11 - Твердість та міцність сталі Р6М5 в залежності від температури гартування (відпуск при 560°C, 3 рази)

Сталь Р6М5К5. Ця сталь - основна марка швидкорізальної сталі підвищеної продуктивності, що застосовується для виготовлення різних чорнових і напівчистових інструментів (фрез, зенкерів, тощо), призначених для обробки вуглецевих і легованих конструкційних сталей на підвищених режимах різання, а також нержавіючих сталей і жароміцних сплавів. Рекомендується замість сталі Р18К5Ф, як економічніша і натомість сталі Р9К5, як має більш високі (на 25-30%) різальні властивості.

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

Термічна обробка швидкорізальних сталей полягає в наступних етапах:

Режими кування та ізотермічного відпалу: температурний інтервал кування – 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 год, охолодження із піччю зі швидкістю 50°C/год до 600°C, потім на повітрі.

Відпал є знеміцнювальною операцією, мета якої - привести до 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. для рівнобічного прогрівання садок швидкість нагрівання повинна бути $\leq 50^\circ\text{C}/\text{год}$.

Режими кінцевої термічної обробки:

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

Висока температура гартування 1200-1230°C для сталей такого типу (на 400...450°C вище A_1) необхідно для розчинення карбідів W, Mo 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.

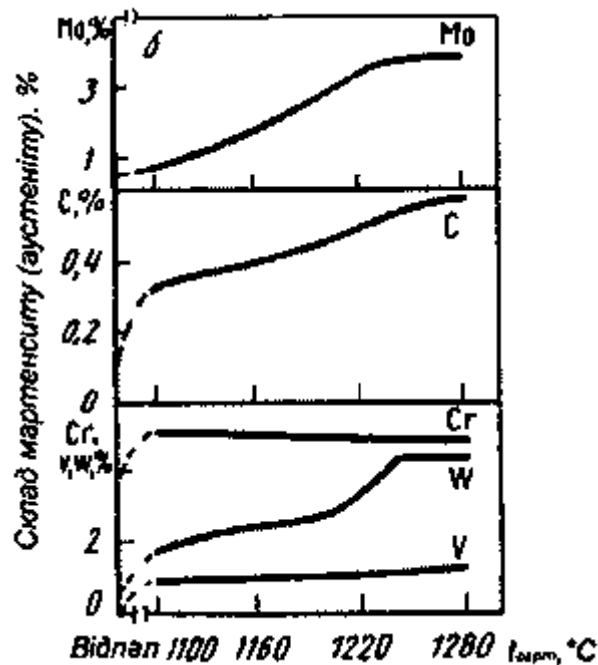
Ступінь легуваності аустеніту (мартенситу) збільшується із підвищенням температури гартування. Легування аустеніту відбувається при розчиненні вторинних карбідів. Первинні карбіди не розчиняються та гальмують ріст зерна, завдяки чому при температурах гартування швидкорізальні сталі зберігають дрібне зерно (навіть при дуже високому нагріванні розчиняється тільки близько 2/5 карбідної фази).

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

Після чого охолоджуємо в маслі зі швидкістю $50^{\circ}\text{C}/\text{с}$ і нижче лінії $M_{\text{п}}$ відбувається бездифузійне перетворення аустеніту в мартенсит і при кімнатній температурі отримується структура $M + \text{Азал}_{(25\%)} + K$.

При повільному охолодженні із високих температур (наприклад, на повітрі) можуть виділитися карбіди, які збіднюють твердий розчин на легувальні елементи, що погіршує різальні властивості. Після гартування сталь має твердість 60 ... 65 HRC, яка не є максимальною, тому що в структурі крім високолегованого мартенситу (із 0,3-0,4%С) 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 більшою кількістю аустеніту залишкового.

Після гарту проводиться трьохразовий відпуск при 550°C та витримкою 1 година для зменшення в структурі м'якої фази Азал та виділення дисперсних карбідів.



Рисунку 1.12 - Вплив температури аустенізації швидкорізальної сталі на склад твердого розчину після гартування

При нагріванні та ізотермічній витримці утворюються карбіди цементитного типу, а потім спеціальні карбіди. Це призводить до відпуску мартенситу та збіднення аустеніту на вуглець та легувальні елементи. Через те, що температура перетворення $A_{\text{зал}}$ на мартенсит поступово підвищується, тому при охолодженні нижче 200°C , відбувається перетворення $A_{\text{зал}}$ в мартенсит. Ці процеси протікають при кожному відпусканні і тому кількість $A_{\text{зал}}$ зменшується до 5%, а HRC збільшується – відбувається вторинне гартування. В процесі витримки при відпусканні із пересиченого 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 та при охолодженні нижче точки M_p ($\sim 140^{\circ}\text{C}$) підлягає мартенситному перетворенню. Однократне відпускання не забезпечує перетворення всього залишкового аустеніту, тому використовують трьохкратне відпускання із витримкою по одній годині та охолодження на повітрі. При цьому кількість залишкового аустеніту знижується до 3-5%, а твердість сталі досягає 63-65 HRC. Висока твердість сталі після відпуску обумовлена збереженням високолегованої мартенситної структури, дисперсійним твердінням та перетворенням аустеніту на мартенсит.

Не менш важливим процесом хіміко-термічного оброблення є низькотемпературне ціанування різального інструменту, зробленого з швидкорізальної сталі. Мета низькотемпературного ціанування – підвищити стійкість інструмента, виготовленого з швидкорізальної сталі. Цей процес полягає в нагріванні готового виробу і термічно обробленого інструменту в розтоплених ціанистих солях при температурі, близької до температури відпуску швидкорізальної сталі, тобто при $550-560^{\circ}\text{C}$ на протязі 15-30 хвилин. В результаті такої обробки на поверхні інструменту утворюється тонкий (0,02-0,04мм) дифузійний шар з високою концентрацією азоту при невеликому насиченні вуглецем.

Критичні точки для розглянутих сталей представлені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Критичні точки, °C [7]

Марка сталі	A_{c1}	A_{cm}	A_{r1}	A_{rm}
P9	820	870	740	780
P18	820	860	725	770
P6M5	815	880	730	790
P6M5K5	840	875	765	805

Механічні властивості і червоностійкість сталей представлені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Механічні властивості і червоностійкість сталей для різальних інструментів в залежності від термічної обробки. [6]

Марка сталі	Режим термічної обробки		HRC	Міцність на згин, МПа	Червоностійкість (HRC 58), °C
	$t_{зак}, ^\circ C$	$t_{зотп}, ^\circ C$			
P9	1230	560	62-63	2800-3200	620
P18	1280	560	63-64	2600-3000	620
P6M5	1230	560	63-65	3200-3600	630
P6M5K5	1220	560	65-66	2600-3000	630

1.3.2 Тверді сплави

Тверді сплави виготовляють методами порошкової металургії. Основні компоненти: карбід вольфраму (WC), карбід титану (TiC) і карбід танталу (TaC), зв'язкою служить металічний кобальт, нікель, або молібден. Теплостійкість твердих сплавів різних марок становить 800-1100 °C, що дозволяє значно підвищити швидкість різання (до 150-200 м/хв). Недолік їх –

відносно низька міцність на згин $\sigma_{зг}=0,9-1,6$ ГПа, а у швидкорізальної сталі $\sigma_{зг}=3-3,5$ ГПа. Міцність на стиск $\sigma_{ст}=4-6$ ГПа, а твердість 90-96 Н_{RA}.

В залежності від хімічного складу тверді сплави поділяються на 4 групи: однокарбідні, двох карбідні трьох карбідні і безвольфрамові.

Однокарбідні тверді сплави (ВК) містять карбід вольфраму і кобальт. Широко відомі марки ВК3; ВК4; ВК6; ВК8; ВК10; ВК15. Цифрою вказано процентний вміст кобальту, а решта –карбід вольфраму. Із збільшенням кількості кобальту зменшується твердість сплаву і росте пластичність, тому для чорнової обробки застосовують марки ВК8. ВК10, а для чистової – ВК3, ВК4. Фізико-механічні властивості твердих сплавів залежать від розміру зерен. Вони можуть бути грубозернисті, нормальні, дрібнозернисті і дуже дрібнозернисті (розмір зерен до 0,5 мкм), позначаються вони відповідно, наприклад, ВК6В, ВК6 ВК6-М, ВК6-ОМ. Сплав ВК6-ОМ додатково легований до 2% Т_аС.

Однокарбідні тверді сплави добре зарекомендували себе при обробці чавунів. Для виготовлення інструменту, який працює з ударним навантаженням (обдирочні операції, переривисте точіння) застосовують грубозернисті тверді сплави (ВК6В). Згідно з нормами ISO одно карбідні тверді сплави у своєму позначенні мають букву К (К01, К05, К10, К20, К30, К40) і фарбуються у червоний колір. Тут маркування ведеться не по хімічному складу, а по механічних (експлуатаційних) властивостях, тому деякі однокарбідні тверді сплави не обов'язково будуть у марці мати букву К. В деякій технічній літературі зустрічається позначення НW.

Двокарбідні тверді сплави (ТК) у своєму складі містять карбід вольфраму (основна складова), карбід титану і кобальт. Широко застосовуються марки Т30К4, Т5К10, Т15К6 (15% Т_іС; 5%С_о, 80%WС). При однаковому вмісті кобальту двох карбідні тверді сплави мають вищу твердість і хрупкість ніж одно карбідні, тому їх використовують для напівчистової і чистової обробки сталі. Згідно з нормами ISO їх маркування

починається з букви Р (Р01, Р10, Р15, Р20, Р30, Р40) і фарбуються в синій колір, в деякій літературі вони позначаються НТ.

Трьохкарбідні тверді сплави (ТТК) складаються з карбіду вольфраму, карбіду титану, карбіду танталу і металічного кобальту (зв'язки). Використовуються марки ТТ7К12 і ТТ20К4, вони характеризуються високою зносостійкістю і експлуатаційною міцністю ($\sigma_{\text{в}} = 1,3 \dots 1,6$ МПа), добре витримують ударні навантаження, вібрації і використовуються при струганні і фрезеруванні. Згідно з нормами ISO їх маркування починається з букви М (М10, М20, М30, М40), або НМ, колір жовтий.

Безвольфрамові тверді сплави створені на основі карбіду і карбонітриду титану, карбіду хрому і тугоплавких зв'язок, зокрема кобальт нікелевої. Ці сплави характеризуються окалиностійкістю, низьким коефіцієнтом тертя, пониженою схильністю до адгезії з оброблюваним матеріалом, але вони мають нижчу міцність, яку втрачають при підвищенні температури, мають низьку теплопровідність. Це сплави: КНТ16;ТН20;ТН30;ТМ1;ТМ3;КХН30. Вони застосовуються для напівчистої і чистої обробки конструкційних низьколегованих сталей і чавунів.

Інститутом надтвердих матеріалів ім. В.М.Бакуля НАН України розроблені нові тверді сплави (ВН і ВКН), які за своїми властивостями близькі до сплавів ВК з однаковою кількістю зв'язки. Дослідження експлуатаційних властивостей цих сплавів при обробці різанням чавунів, сталей, в буровому і штамповому інструменті підтвердило їх добру якість. Це сплави ВН6; ВН8; ВН10; ВН15.

Розробка цих інструментальних матеріалів викликана відсутністю в Україні необхідної сировинної бази (кобальту). Нікель в 2...3 рази дешевший кобальту. Собівартість твердих сплавів на нікелевій основі на 10...20% нижча ніж сплавів 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 осьової 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 основна термічна обробка, що включає в себе гартування 1210°С та трикратному відпуску при температурі 560°С 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

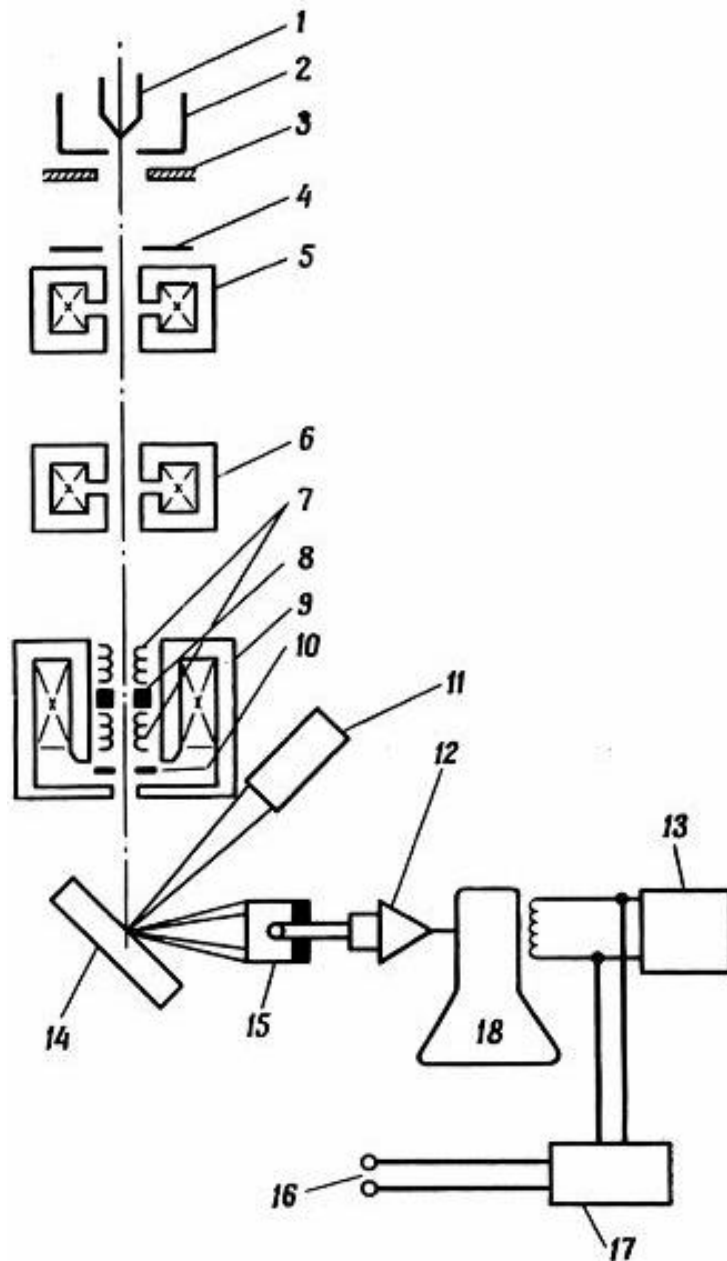
2.3.1 Принцип роботи РЕМ

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°C, 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 збільшення; 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 Дослідження економнолегованих швидкорізальних сталей

Хімічний склади зразків сталі, що досліджується наведені в таблиці 2.1. Після лиття в сталі типу РЗАМЗФ2 кристалізуються карбіди типу M_6C , MC и M_2C . Які можуть утворювати евтектичні колонії. У швидкорізальних сталях зустрічаються чотири види евтектик: скелетна евтектика, її базовим карбідом є карбід M_6C , ванадієва евтектика (рідко зустрічається) – на базі карбіду MC , що в свою чергу містить велику кількість ванадію; пластинчаста та стрижнева евтектики, що утворені на базі одного карбіду M_2C , проте різні за будовою. Карбіди M_2C мають характерну для них стрижнеподібну форму та направленість та зазвичай в процесі термічної обробки розпадаються на більш округлі та дрібні карбіди M_6C (2...5 мкм) та на численні ще дрібніші карбіди MC (0,5...1 мкм). Для більш повного розчинення карбідів в аустеніті та отримання червоностійкого мартенситу нагрівання проводять до високої температури (1260...1280°C). Ступінь легуваності аустеніту (мартенситу) збільшується із підвищенням температури гартування. Легування аустеніту відбувається при розчиненні вторинних карбідів. Первинні карбіди не розчиняються та гальмують ріст зерна, завдяки чому при температурах гартування швидкорізальні сталі зберігають дрібне зерно (навіть при дуже високому нагріванні розчиняється тільки близько 2/5 карбідної фази). При нагріванні та ізотермічній витримці утворюються карбіди цементитного типу, а потім спеціальні карбіди. Це призводить до відпуску мартенситу та збіднення аустеніту на вуглець та легувальні елементи. Через це, що температура перетворення Азал на мартенсит поступово підвищується, тому при охолодженні нижче 200°C, відбувається перетворення Азал в мартенсит. Ці процеси протікають при кожному відпусканні і тому кількість Азал зменшується до 5%, а HRC збільшується – відбувається вторинне гартування. Швидкорізальні сталі зазвичай мають малу теплопровідність і схильні до

утворення тріщин, вироби з неї нагрівають до 820...850°C повільно, щоб не викликати теплових напружень, а потім швидко до 1260...1280°C. Після гартування в структурі міститься близько 30...40% залишкового аустеніту, твердість такої сталі значно нижче, ніж при однорідній мартенситній структурі. Тому для більш повного перетворення залишкового аустеніту в мартенсит застосовують багаторазовий відпуск з витримкою по 1 годині. При цьому кількість залишкового аустеніту знижується до 3-5%, а твердість сталі досягає 63...65 HRC. Висока твердість сталі після відпуску обумовлена збереженням високолегованої мартенситної структури, дисперсійним твердінням та перетворенням аустеніту на мартенсит. Переохолоджений аустеніт має високу стійкість. Аустеніт, який насичений вуглецем та легувальними елементами при високому нагріванні, стає пересиченим та може виділяти карбіди вже при великій витримці та більш низьких температурах: 1000...550°C. Крім того, карбіди, які виділяються розташовуються по границях зерен, при цьому твердість сталі зменшується. Для попередження виділення карбідів необхідно пришвидшене охолодження в області надкритичних температур. При більш низьких температурах (625...400°C) аустеніт дуже стійкий. Температуру витримки краще обирати у нижній зоні 500...400°C, щоб повністю попередити виділення карбідів. В процесі витримки при відпусканні із пересиченого α - та γ - твердих розчинів виділяються спеціальні високодисперсні карбіди W, Mo, V типу MC, M₂C, M₆C. аустеніт, збіднений на вуглець та легувальні елементи, стає менш стійким та при охолодженні нижче точки M_n (~140°C) підлягає мартенситному перетворенню.

Температури початку та кінця мартенситного перетворення сильно залежать від легованості аустеніту та від температури гартування. Уповільнене охолодження (або витримка) при температурах >625°C, призведе до виділення карбідів, що підвищує температури мартенситного перетворення. Витримка в області найбільшої стійкості аустеніту (625...450°C) не змінює температур M_n та M_k.

В таблиці 3.1 наведений структурний склад евтектичних карбідів в литій та термічно обробленій сталі швидкорізальній сталі.

Таблиця 3.1 – Структурний стан евтектичних карбідів

Ймовірні карбіди	Розрахункова формула карбіду	
	РЗАМЗФ2Б1Т (склад №1)	РЗАМЗФ2Б1Т1 (склад №2)
Ливарний стан		
1	2	3
M_2C	$(V_{0,18} Cr_{0,184} Fe_{0,153} Nb_{0,013} Mo_{0,336} W_{0,134})_2C$	$(V_{0,207} Cr_{0,178} Fe_{0,149} Nb_{0,011} Mo_{0,321} W_{0,134})_2C$
M_2C	$(V_{0,159} Cr_{0,269} Fe_{0,164} Nb_{0,014} Mo_{0,267} W_{0,128})_2C$	-
M_6C	-	$(V_{0,12} Cr_{0,061} Fe_{0,522} Nb_{0,007} Mo_{0,202} W_{0,09})_6C$
MC (TiC)	$(Ti_{0,77} V_{0,12} Cr_{0,01} Fe_{0,04} Nb_{0,05} Mo_{0,002} W_{0,0007})C$	$(Ti_{0,909} V_{0,006} Fe_{0,067} Nb_{0,007} Mo_{0,004} W_{0,007})C$
MC (VC)	$(V_{0,57} Cr_{0,043} Fe_{0,077} Nb_{0,155} Mo_{0,1} W_{0,054})C$	$(Ti_{0,007} V_{0,617} Cr_{0,019} Fe_{0,045} Nb_{0,083} Mo_{0,139} W_{0,09})C$
MC (NbC)	$(Ti_{0,008} V_{0,152} Cr_{0,008} Fe_{0,024} Nb_{0,778} Mo_{0,0197} W_{0,01})C$	-
MC ((TiNb)C)	-	$(Ti_{0,684} V_{0,074} Fe_{0,032} Nb_{0,192} Mo_{0,007} W_{0,01})C$
Після термічної обробки		
M_6C	$(V_{0,046} Cr_{0,065} Fe_{0,528} Nb_{0,007} Mo_{0,222} W_{0,13})_6C$	$(V_{0,057} Cr_{0,038} Fe_{0,515} Nb_{0,005} Mo_{0,242} W_{0,143})_6C$
MC (TiC)	$(Ti_{0,733} V_{0,161} Cr_{0,007} Fe_{0,018} Nb_{0,08} Mo_{0,001})C$	$(Ti_{0,885} V_{0,027} Fe_{0,016} Nb_{0,08} Mo_{0,016} W_{0,026})C$

Продовження таблиці 3.1

1	2	3
MC (VC)	(V _{0,538} Cr _{0,061} Fe _{0,079} Nb _{0,10} Mo _{0,15} W _{0,072})C	(Ti _{0,002} V _{0,603} Cr _{0,031} Fe _{0,054} Nb _{0,049} Mo _{0,17} W _{0,0925})C
MC ((V Nb)C)	-	(Ti _{0,02} V _{0,586} Cr _{0,0203} Fe _{0,0384} Nb _{0,104} Mo _{0,147} W _{0,084})C
MC (NbC)	(Ti _{0,009} V _{0,161} Cr _{0,007} Fe _{0,028} Nb _{0,766} Mo _{0,019} W _{0,01})C	-
MC ((Ti Nb)C)	-	(Ti _{0,611} V _{0,066} Cr _{0,003} Fe _{0,032} Nb _{0,25} Mo _{0,018} W _{0,0195})C

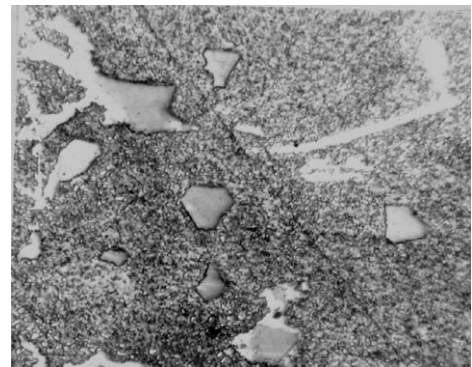
Як видно з таблиці 3.1 додаткове легування ніобієм (склад №1, табл.2.1) не змінює тип карбідів в литому стані. Також, проводились дослідження [42], що свідчать про те, що ніобій частково знаходиться в твердому розчині, таким чином легуючи його. Також в структурі відсутні карбіди типу M_6C , які замінені на утворені карбіди на основі титану та ніобію. Також карбід типу VC став додатково легованим титаном та ніобієм. Можна відмітити, що ніобій є надзвичайно активним карбідоутворювачем, і введення його у великих кількостях призводить у утворення складнорозчинних укрупнених карбідів, що ніяк не впливають на його властивості і не приймає участь у легуванні твердого розчину. Введення титану (склад 2) спричиняє збільшення його кількості в карбідах MC, а також долегування карбідів в яких спостерігалось його відсутність. Додаткове легування титаном призводить до зародження карбіду типу M_6C та зникненню M_2C та MC (NbC). Зафіксовані евтектичні карбіди M_6C , формуванню яких сприяє комплексне легування титаном та ніобієм, що також спричиняє до утворення складнолегованого титано-ніобієвого карбіду MC ((TiNb)C). Таким чином формується закономірність, що із підвищення легування сталі підвищується кількість елементів в карбідах і як наслідок покращуються властивості сталі.

Після повного циклу термічної обробки природа карбідної фази змінюється. Так в сталі, складу №1, розпадаються карбіди M_2C та утворюються карбіди типу M_6C , проте при цьому первинні карбіди типу MC залишаються незмінними. Цей процес описується наступним чином, що при повному протіканні карбідних перетворень відбувається перехід метастабільних карбідів в стабільні, їх ділення по утвореним міжфазним границям. Частинки карбідів MC виявляються оточеними аустенітом. Міцність зчеплення цих карбідів з твердим розчином невелика. Накопичені у частинок MC дислокації виходять на міжфазну поверхню і відбувається відшарування частинок від аустенітної основи.

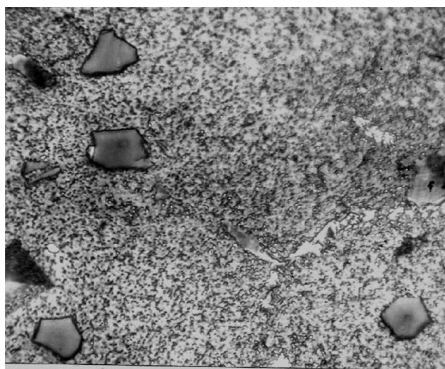
На рисунку 3.1 наведено морфологію карбідів в експериментальних сталях.



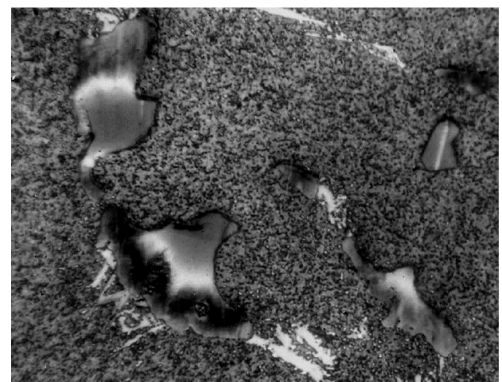
а



б



в



г

а – карбід TiC ; б – карбід NbC ; в – карбід $(TiNb)C$; г – карбід $(VNb)C$

Рисунок 3.1 – Типова морфологія карбідів в експериментальних сталях ($\times 1250$)

Дивлячись на рисунок морфологія карбідів типова, карбід TiC (рисунок 3.1, а) має вигляд «китайських ієрогліфів» із розвиненою поверхнею.

Карбід NbC (рисунок 3.1, б) має типову форму шестигранників, які розташовані по площині шліфа. Також спостерігаються пир'ясті відгалуження від шестигранників, які класифікуються як карбід M_2C , така будова пояснюється умовами кристалізації із рідкого стану.

В сталі РЗАМЗФ2Б1Т1 (склад 2), після термічної обробки відбувається розпад карбіду M_2C , проте карбід типу M_6C був присутній і в литому стані.

Разом із TiC морфологія якого схожа із сталю складу №1, утворюється «складний» карбід типу (TiNb)C (рисунок 3.1, в). Його форма суттєво відрізняється від TiC та набуває форми трьох-, п'яти-, а іноді шестигранників. Кількість ніобію в карбіді знаходиться на максимальному рівні із відносно більшою кількістю титану, що може призвести до суттєвого підвищення експлуатаційних властивостей матеріалу.

Проте карбід NbC відсутній в сталі складу №2, при цьому після термічної обробки утворюється «складний» карбід типу (VNb)C. Його будова є нетиповою для даного матеріалу та полягає в утворенні «комплексно легованого» карбіду на підложці (TiNb)C (рисунок 3.1, г).

Як видно із рисунку 3.1, г, від багатогранника карбіда (TiNb)C відходять відгалуження (VNb)C, що може пояснюватись подібністю кристалічної ґратки.

Порівнювальні випробування стійкості інструменту із експериментальними сталями і класичної швидкорізальної сталі Р6М5 проводили при різних режимах різання на конструкційних матеріалах, результати наведені в таблиці 3.2. Для кожної із заготовок змінювали швидкість різання V , глибину різання S , швидкість подачі t та частоту обертання n .

Таблиця 3.2 – Результати порівняльних випробувань стійкості
(середнє значення з трьох випробувань)

Матеріал, що обробляється	Режим обробки	Стійкість					
		Р3АМ3Ф2Б1Т		Р3АМ3Ф2Б1Т1		Р6М5	
		абсолют . мин	віднос н.. %	абсолют мин	віднос н. %	абсолют н. мин	відносн . %
Сталь 45	Точіння: V=50 м/хв S=0,39 мм/об T=1,0 мм	9,7	133,0	20,7	284,0	7,3	100,0
	Фрезеруван ня: V=51,5 м/хв S _z =0,15 мм/об t=0,5 мм; n=315 м/мм	28,3	78,6	34,0	94,4	36,0	100,0
ШХ15СГ	Точіння: V=30 м/хв S=0,21 мм/об t=1,0 мм	13,2	107,0	15,3	124,5	12,3	100,0
	Точіння: V=40 м/хв S=0,28 мм/об t=1,0 мм	11,0	73,5	14,3	95,5	15,0	100,0

Продовження таблиці 3.2

	Фрезерування: V=41 м/мин S _z =0,2 мм/зуб t=0,5 мм; n=250 м/мм	17,7	90,0	19,7	100,0	19,7	100,0
12X18H10T	Точіння: V=25 м/хв S=0,28 мм/об t=1,0 мм	24,0	103,0	28,7	123,0	23,3	100,0
	Фрезерування: V=32,7 м/хв S _z =0,15 мм/об t=0,5 мм; n=200 м/мм	24,3	130,0	19,7	105,5	18,7	100,0

Аналіз отриманих результатів не показав значну відмінність в показниках. Так при роботі інструмента зі сталі РЗАМЗФ2Б1Т (склад 1) тільки в трьох випадках результати стійкості нижче інструменту із класичної сталі, а при різанні інструмента зі сталі (склад 2) в двох режимах нижче ніж Р5М5 (проте відносна стійкість в тих випадках не нижче 94%). Отже, ресурсостпроможність експериментальних сталей ні чим не гірша ніж класичної сталі. Також можна відмітити вплив ніобію та титану на

експлуатаційні властивості в дослідних сталях. А саме в зазначеній кількості (табл.2.1) дані елементи підвищують властивості різання.

3.2 Технологія виготовлення інструментів зі сталі РЗАМЗФ2Б1Т1

Термічна обробка інструментів зі сталі РЗАМЗФ2Б1Т1 майже не відрізняється від термічного оброблення класичної швидкорізальної сталі Р6М5. Режим має наступний вигляд: перший підігрів здійснюється до 450...460°C, другий підігрів 830...850°C, остаточний нагрів під гарт 1220...1230°C охолодження в маслі до кімнатної температури, відпускання до температури 540...560°C, три рази по 1 годині. Маршрутна технологія виготовлення виробу зі сталі наведена в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Маршрутна технологія виготовлення виробу (свердло) із економнолегованої сталі РЗАМЗФ2Б1Т1

№	Назва операції	Цех(дільниця)	Призначення
1	2	3	4
1.	Вхідний контроль	Заготівельний цех	Контроль хімічного складу, розмірів, відсутності дефектів прокату
2.	Заготівельна	Заготівельний цех	Отримання заготовок із прокату
3.	Попередня термічна обробка	Термічне відділення цеху	Отримання рівновагової структури, зменшення структурної неоднорідності, зменшення твердості

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4
4.	Механічне оброблення(попереднє)	Інструментальний цех	Надання заготовці необхідної форми та розмірів.
5.	Основна термічна обробка	Термічне відділення інструментального цеху	Отримання необхідної структури та властивостей.
6.	Остаточне механічне оброблення	Інструментальний цех	Надання виробу остаточних розмірів, геометрії, шорсткості, відповідно робочому кресленню
7.	Контроль	Інструментальний цех	Повний контроль виробу відповідно робочому кресленню

Таким чином, аналіз схеми маршрутної технології дозволяє виділити ті операції процесу, які приводять до зміни структури та властивостей. До них відносяться : попередня термічна обробка, основна термічна обробка.

Для розрахунку операцій термічної обробки як приклад, обираємо звичайне свердло діаметром 4 мм.

Для здійснення операції відпалу використовується піч СНЗ-6.12.4/10: С-електрична, Н-камерна, 3-захисне середовище (контрольоване), з шириною 600 мм, 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).

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

$$n_{\text{ш}} = \text{Ш} / (d + d/2) \quad (3.1)$$

де Ш- ширина робочого простору, 600мм;

d – діаметр заготовки, 12мм;

$$n_{\text{ш}} = 600 / 12 + 6 = 33 \text{ шт}$$

Розраховуємо кількість виробів що поміщуються по довжині робочого простору печі:

$$n_{\text{д}} = \text{Д} / (d + d/2) \quad (3.2)$$

де Д- довжина робочого простору, 1200мм;

d – діаметр заготовки, 12мм;

$$n_{\text{д}} = 1200 / 12 + 6 = 66 \text{ шт}$$

Тоді в одному ярусі розташовується: $n_{\text{яр}} = n_{\text{ш}} \cdot n_{\text{д}} = 33 \cdot 66 = 2178 \text{ шт}$

Розраховуємо кількість виробів робочого простору по висоті:

$$n_{\text{L}} = \text{L} / (l + l/2) \quad (3.3)$$

де L- висота робочого простору, 400мм;

d – висота заготовки, 78 мм;

$$n_{\text{L}} = 400 / 78 + 39 = 3 \text{ яр}$$

Кількість виробів в печі розраховуємо за формулою:

$$N = n_{\text{яр}} \cdot n_{\text{L}} = 2178 \cdot 3 = 6534 \text{ шт}$$

Щоб розрахувати масу садки, треба визначити масу робочої частини свердла, яку поміщують у піч: $m = V \cdot \rho = \Pi d^2 / 4 \cdot l \cdot \rho$

Де V – об'єм заготовки,

ρ – густина сталі з якої виготовляється заготовка(P6M5)

$$m = 3,14 \cdot (0,012)^2 / 4 \cdot 0,078 \cdot 8100 = 0,21 \text{ кг}$$

$$\text{Розрахуємо масу садки : } M_c = N \cdot m = 6534 \cdot 0,21 = 1372 \text{ кг}$$

Перший підігрів усього інструменту під гарт здійснюється в печі СНЗ-6.9.4,5/6,5: С – електрична, Н – камерна, З – захисне середовище (контрольоване), з шириною 600 мм, довжиною 400мм, висотою 450мм, максимальний нагрів до температур 650°C. Робоче середовище ендогаз (CO~19%,H₂~41%, решта N₂).

Розраховуємо кількість виробів що поміщуються по ширині робочого простору печі СНЗ-6.9.4,5/6,5: $n_{\text{ш}} = 600/12+6=33$ шт

Розрахуємо кількість виробів що поміщуються по довжині робочого простору печі: $n_{\text{д}} = 900/12+6=50$ шт

$$\text{В одному ярусі розташовується: } n_{\text{яр}} = n_{\text{ш}} \cdot n_{\text{д}} = 33 \cdot 50 = 1650 \text{ шт}$$

Розрахуємо кількість виробів робочого простору по висоті:
 $n_{\text{L}} = 450/140+70=2$ яр

Кількість виробів в печі розраховуємо за формулою:

$$N = n_{\text{яр}} \cdot n_{\text{L}} = 1650 \cdot 2 = 3300 \text{ шт}$$

$$\text{Розрахуємо масу садки : } M_c = N \cdot m = 3\,300 \cdot 0,36 = 1188 \text{ кг}$$

Другий підігрів під гарт (обробляється тільки робоча частина свердла) здійснюється в печі СВС 3,5.8.4/8,5: С – електрична, В – піч ванна, С- робоче середовище сіль, з шириною 350 мм, довжиною 800мм, висотою 400мм, максимальний нагрів до температур 850°C. Робоче середовище 78% BaCl₂, 22% NaCl

Розрахуємо кількість виробів що поміщуються по ширині робочого простору печі СВС 3,5.8.4/8,5: $n_{\text{ш}} = 350/12+6=19$ шт

Розрахуємо кількість виробів що поміщуються по довжині робочого простору печі: $n_{\text{д}} = 800/12+6=44$ шт

$$\text{Тоді в одному ярусі розташовується: } n_{\text{яр}} = n_{\text{ш}} \cdot n_{\text{д}} = 19 \cdot 44 = 836 \text{ шт}$$

У цю піч занурюється лише робоча частина свердла, то буде всього один ярус. Розрахуємо масу садки : $M_c = N \cdot m = 836 \cdot 0,2 = 167,2 \text{ кг}$

Для остаточного нагріву під гарт обираємо піч СВС 3,5.8.4/13: С – електрична, В – піч ванна, С- робоче середовище сіль, з шириною 350 мм, довжиною 800мм, висотою 400мм, максимальний нагрів до температур 1300°C.Робоче середовище 100% BaCl₂.

Розраховуємо кількість виробів що поміщуються по ширині робочого простору печі СВС 3,5.8.4/13: $n_{\text{ш}}=350/12+6=19$ шт

Розрахуємо кількість виробів що поміщуються по довжині робочого простору печі: $n_{\text{д}}=800/12+6=44$ шт

Тоді в одному ярусі розташовується: $n_{\text{яр}}= n_{\text{ш}} \cdot n_{\text{д}}=19 \cdot 44=836$ шт

Розрахуємо масу садки : $M_{\text{с}}= N \cdot m=836 \cdot 0,2=167,2$ кг

Так як 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.

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 тощо) 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:

$$\tau_{\text{н}} = S \cdot k \cdot f \cdot L_{\text{л}}, \quad (3.4)$$

де S - характеристичний розмір виробу, мм;

k - коефіцієнт форми;

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

L_л - коефіцієнт легування сталі, хв/мм.

Час витримки t_v , хв., при заданій температурі розраховується з таблиць.

Відпал (піч СНЗ-6.12.4/10) С – електрична, Н – камерна, З – захисне середовище (контрольоване), з шириною 600 мм, довжиною 1200мм, висотою 400мм, нагрів до температур 1000°C.

$$\tau_n = 6 \cdot 1 \cdot 1,4 \cdot 1,72 = 14,44 (\text{хв.});$$

$$\tau_{bl} = 2 \text{ хв на } 1 \text{ мм товщини} = 2 \cdot 6 = 12 \text{ хв};$$

$$\tau_{ox1} = (t_n - t_k) / V_{ox} = 850 - 725 / 40 = 2,5 (\text{год.});$$

Гартування: Перший підігрів (піч-ванна СНЗ-6.9.4,5/6,5):

$$\tau_{n1} = 6 \cdot 1 \cdot 1,4 \cdot 2,7 = 22,68 (\text{хв.})$$

Тривалість витримки τ_v розраховуємо по формулі, так як виріб гріється з двох сторін діаметр заготовки ділимо на 2: $\tau_{bl} = 2 \cdot 6 = 12 \text{ хв.}$

$$\tau_{заг} = \tau_n + \tau_v = 22,68 + 12 = 34,68 (\text{хв.})$$

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:

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

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

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

V/F – відношення об'єму до тепло сприймаючої 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_n - коефіцієнт конфігурації інструменту, який враховує зрізаність канавками фасонної частини робочої частини інструменту. $K_n = 0,9$.

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

$$V/F=(D \cdot H)/(4H+2D)=(1,2 \cdot 7,8)/(4 \cdot 7,8+2 \cdot 1,2)=0,2785 \text{ (см.)}$$

$$K_\phi=1+0,2 (H/D)= K_\phi=1+0,2 (78/12)=2,3$$

$$K_{\text{и}}=0,9$$

$$\tau_{\text{н2}}=\tau_{\text{с.п.}}=K_1 \cdot (V/F) \cdot K_\phi \cdot K_{\text{и}}= 11,25 \cdot 0,2785 \cdot 2,3 \cdot 0,9=6,49 \text{ (хв.)}$$

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

$$\tau_{\text{в2}}=2,5 + 0,3 \cdot 6 = 4,3 \text{ (хв.)}$$

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_{\text{с.п.}} + \tau_{\text{в}} = 6,49 + 4,3 = 10,79 \text{ (хв.)}$$

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

Для високотемпературного нагрівання $K_1=8-0,013(t_H - 1000)= K_1=8-0,013(1220 - 1000)=5,14 \text{ (хв.)}$ $V/F=(D \cdot H)/(4H+2D) = (1,2 \cdot 7,8)/(4 \cdot 7,8+2 \cdot 1,2) = 0,2785 \text{ (см.)}$.

$$K_\phi=1+0,2 (H/D)= K_\phi=1+0,2 (7,8/1,2)=2,3 \text{ (хв.)}$$

$$K_{\text{и}}=0,9$$

$$\tau_{\text{п3}}=\tau_{\text{с.п.}}=K_1 \cdot (V/F) \cdot K_\phi \cdot K_{\text{и}}= 5,14 \cdot 0,2785 \cdot 2,3 \cdot 0,9=2,96 \text{ (хв.)}$$

$$\tau_{\text{в3}}=2,5 \text{ хв.} + 0,3 \text{ хв. на 1 мм товщини виробу; } \tau_{\text{в3}}=2,5 + 0,3 \cdot 6 = 4,3 \text{ (хв.)}$$

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_{\text{с.п.}} + \tau_{\text{в3}} = 2,96 + 4,3 = 7,2 \text{ (хв.)}$$

$$\tau_{\text{ох}} = 1220 - 20 / 50 = 24 \text{ (с.)} = 0,4 \text{ (хв.)}$$

Відпуск(3 рази) (піч СВС-3,5.8.4/6):

$$\tau_{\text{н}}=6 \cdot 1 \cdot 1,4 \cdot 0,5=4,2 \text{ (хв.)}$$

$$\tau_{\text{в}}=1 \text{ (год.) з довідникових даних}$$

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

Також включаються такі операції як промивання, сушіння виробів. Промивання здійснюється для видалення забруднень, в даному випадку солей. Використовують обладнання - це мийні баки та машини, основною робочою речовиною є $\text{H}_2\text{O} + (8 - 10) \% \text{Na}_2\text{CO}_3$ при температурах $80 \dots 95^\circ\text{C}$. Проводяться контроль структури і геометрії виробу.

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 не використання індивідуальних засобів захисту;

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

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

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

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

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

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 устройства электроустановок» [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 на гумовій підошві, рукавиці брезентові із вогнезахисним просоченням, окуляри захисні закриті.

в) Для попередження термічних та хімічних опіків передбачено виконання роботи в спецодязі (халат, рукавиці) відповідно до ДСТУ 3962-2000 та ГОСТ 12.4.137-2001 [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 (провітрювання) та механічна - загальнообмінна у відповідності з вимогами СНиП 2.04.85-86 «Отопление, вентиляция, кондиционирование. Нормы проектирования» [49]. Поряд з використанням вентиляції. У шафі для зберігання реактивів передбачено встановлення витяжної вентиляції.

Таблица 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 °С, допустимі 18-22 °С, 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 (прівітрювання) 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.

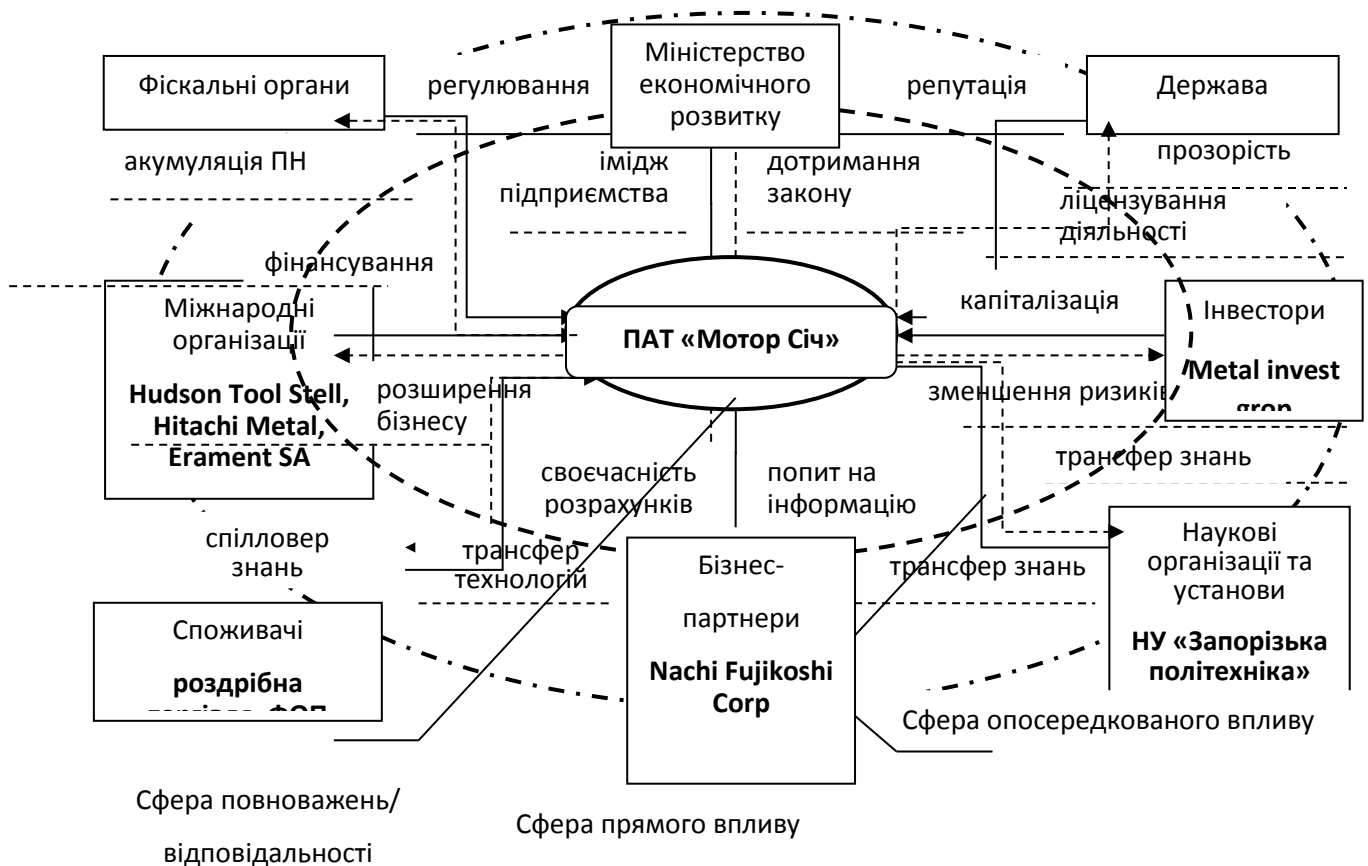


Рисунок 5.1 - Карта стейкхолдерів

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 ґрунтування 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.; K_{BC} – 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	33030
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> Електрик	1	3	80	8	12800	10	1280	153600	33792
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	Кіль-кість 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 науковий співробітник	1	5600	30	1650	7250	87000	19140

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 Р3АМЗФ2

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	2310

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

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 визначено 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, 512 с.
2. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1977. 407с.
3. http://metallischekiy-portal.ru/marki_metallov
4. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1986. 542 с.
5. Попова Л.Е., Попов А.Л. Диаграммы превращения аустенита в сталях и β -раствора в сплавах титана: Справочник. М.: Металлургия, 1991. 504 с.
6. Позняк Л.А. Инструментальные сталі. К.: Вища школа, 1996. 487 с.
7. Фиргер И.В. Термическая обработка сплавов. Ленинград.: Машиностроение, 1982. 304 с.
8. Геллер Ю.А. Инструментальные сталі. 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 карбидосталі. *Порошковая металлургия*. 1984. №5. С. 40–44.
12. Гуревич Ю.Г., Нарва В.К., Фраге Н.Р. Карбидосталі. 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. Metallорежущие 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. На заміну 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).

ДОДАТОК А

Таблиця А.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.

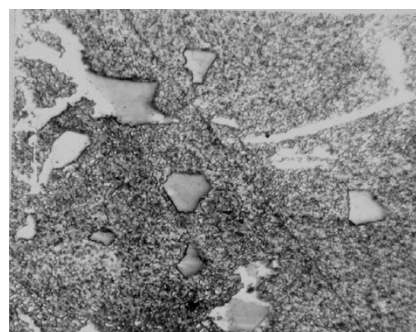
Таблиця А.2 - Структурний стан евтектичних карбідів

Ймовірні карбіди	Розрахункова формула карбіду	
	РЗАМЗФ2Б1Т (склад №1)	РЗАМЗФ2Б1Т1 (склад №2)
Ливарний стан		
1	2	3
M_2C	$(V_{0,18} Cr_{0,184} Fe_{0,153} Nb_{0,013} Mo_{0,336} W_{0,134})_2C$	$(V_{0,207} Cr_{0,178} Fe_{0,149} Nb_{0,011} Mo_{0,321} W_{0,134})_2C$
M_2C	$(V_{0,159} Cr_{0,269} Fe_{0,164} Nb_{0,014} Mo_{0,267} W_{0,128})_2C$	-
M_6C	-	$(V_{0,12} Cr_{0,061} Fe_{0,522} Nb_{0,007} Mo_{0,202} W_{0,09})_6C$
MC (TiC)	$(Ti_{0,77} V_{0,12} Cr_{0,01} Fe_{0,04} Nb_{0,05} Mo_{0,002} W_{0,0007})C$	$(Ti_{0,909} V_{0,006} Fe_{0,067} Nb_{0,007} Mo_{0,004} W_{0,007})C$
MC (VC)	$(V_{0,57} Cr_{0,043} Fe_{0,077} Nb_{0,155} Mo_{0,1} W_{0,054})C$	$(Ti_{0,007} V_{0,617} Cr_{0,019} Fe_{0,045} Nb_{0,083} Mo_{0,139} W_{0,09})C$
MC (NbC)	$(Ti_{0,008} V_{0,152} Cr_{0,008} Fe_{0,024} Nb_{0,778} Mo_{0,0197} W_{0,01})C$	-
MC ((TiNb)C)	-	$(Ti_{0,684} V_{0,074} Fe_{0,032} Nb_{0,192})C$

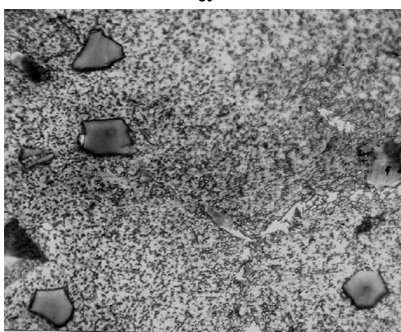
		$\text{Mo}_{0,007} \text{W}_{0,01}\text{C}$
Після термічної обробки		
M_6C	$(\text{V}_{0,046} \text{Cr}_{0,065} \text{Fe}_{0,528} \text{Nb}_{0,007} \text{Mo}_{0,222} \text{W}_{0,13})_6\text{C}$	$(\text{V}_{0,057} \text{Cr}_{0,038} \text{Fe}_{0,515} \text{Nb}_{0,005} \text{Mo}_{0,242} \text{W}_{0,143})_6\text{C}$
MC (TiC)	$(\text{Ti}_{0,733} \text{V}_{0,161} \text{Cr}_{0,007} \text{Fe}_{0,018} \text{Nb}_{0,08} \text{Mo}_{0,001})\text{C}$	$(\text{Ti}_{0,885} \text{V}_{0,027} \text{Fe}_{0,016} \text{Nb}_{0,08} \text{Mo}_{0,016} \text{W}_{0,026})\text{C}$
MC (VC)	$(\text{V}_{0,538} \text{Cr}_{0,061} \text{Fe}_{0,079} \text{Nb}_{0,10} \text{Mo}_{0,15} \text{W}_{0,072})\text{C}$	$(\text{Ti}_{0,002} \text{V}_{0,603} \text{Cr}_{0,031} \text{Fe}_{0,054} \text{Nb}_{0,049} \text{Mo}_{0,17} \text{W}_{0,0925})\text{C}$
MC (VNb)C)	-	$(\text{Ti}_{0,02} \text{V}_{0,586} \text{Cr}_{0,0203} \text{Fe}_{0,0384} \text{Nb}_{0,104} \text{Mo}_{0,147} \text{W}_{0,084})\text{C}$
MC (NbC)	$(\text{Ti}_{0,009} \text{V}_{0,161} \text{Cr}_{0,007} \text{Fe}_{0,028} \text{Nb}_{0,766} \text{Mo}_{0,019} \text{W}_{0,01})\text{C}$	-
MC (TiNb)C)	-	$(\text{Ti}_{0,611} \text{V}_{0,066} \text{Cr}_{0,003} \text{Fe}_{0,032} \text{Nb}_{0,25} \text{Mo}_{0,018} \text{W}_{0,0195})\text{C}$



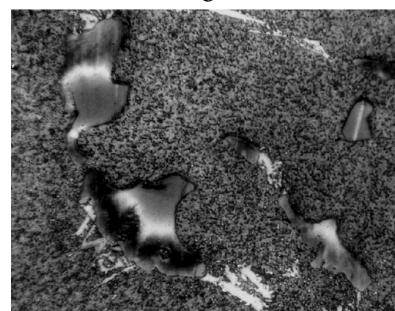
а



б



в



г

а – карбід TiC; б – карбід NbC; в – карбід (TiNb)C; г – карбід (VNb)C

Рисунок А.1 – Морфологія карбідів дослідних сталей

Таблиця А.3. – Експлуатаційні властивості сталей

Матеріал, що обробляється	Режим обробки	Стійкість					
		Р3АМ3Ф2Б1Т		Р3АМ3Ф2Б1Т1		Р6М5	
		абсолют · мин	віднос н.. %	абсолют мин	віднос н. %	абсолют н. мин	відносн · %
Сталь 45	Точіння: V=50 м/хв S=0,39 мм/об T=1,0 мм	9,7	133,0	20,7	284,0	7,3	100,0
	Фрезеруван ня: V=51,5 м/хв S _z =0,15 мм/об t=0,5 мм; n=315 м/мм	28,3	78,6	34,0	94,4	36,0	100,0
ШХ15СГ	Точіння: V=30 м/хв S=0,21 мм/об t=1,0 мм	13,2	107,0	15,3	124,5	12,3	100,0
	Точіння: V=40 м/хв S=0,28 мм/об t=1,0 мм	11,0	73,5	14,3	95,5	15,0	100,0

	Фрезерування: V=41 м/мин S _z =0,2 мм/зуб t=0,5 мм; n=250 м/мм	17,7	90,0	19,7	100,0	19,7	100,0
12X18H10T	Точіння: V=25 м/хв S=0,28 мм/об t=1,0 мм	24,0	103,0	28,7	123,0	23,3	100,0
	Фрезерування: V=32,7 м/хв S _z =0,15 мм/об t=0,5 мм; n=200 м/мм	24,3	130,0	19,7	105,5	18,7	100,0