

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет
(повне найменування факультету)

Кафедра «Фізичне матеріалознавство»
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

бакалавра
(ступінь вищої освіти)

на тему Дослідження впливу легувальних елементів сталі Р6М5 на
(назва теми)
забезпечення експлуатаційних властивостей фрез

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи ІФз-210сп

Спеціальності 132 «Матеріалознавство»
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Прикладне матеріалознавство

ПЕТРОВА Анна Євгенівна
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник КОНОНЕНКО Юлія Іванівна
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент _____
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Інженерно-фізичний

Кафедра Фізичне матеріалознавство

Ступінь вищої освіти бакалавр

Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Прикладне матеріалознавство

(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри «Фізичне матеріалознавство»

Вадим ОЛЬШАНЕЦЬКИЙ

« _____ » _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

ПЕТРОВА Анна Євгенівна

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Дослідження впливу легувальних елементів сталі Р6М5 на забезпечення експлуатаційних властивостей фрез

керівник проєкту (роботи) ст.викладач КОНОНЕНКО Юлія Іванівна,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від « _____ » _____ 20__ року № _____

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Ескіз фрези відрізної, сталь Р6М5: теплостійкість 620°C, твердість 62-65HRC.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалу

2. Номенклатура та маршрутна технологія виготовлення виробів.

3. Характеристика матеріалів виробів.

4. Розробка режимів і технологій термічної обробки.

5. Технічний контроль, попередження та виправлення дефектів.

6. Охорона праці та безпека життєдіяльності

7. Спеціальна частина.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів) 4 слайди

Дискова відрізна фреза та матеріал для її виготовлення.

Графік термічної обробки дискової відрізної фрези, виготовленої зі сталі Р6М5.

Вибір температури гартування сталі Р6М5.

Вплив модифікування на будову евтектики сталі Р6М5.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРІЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-7	КОНОНЕНКО Ю.І., ст. викладач		
н/к	ТКАЧ Д.В., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання «_____» _____ 20__ року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалу	12 квітня	
2	Номенклатура та маршрутна технологія виготовлення виробів	21 квітня	
3	Характеристика матеріалів виробів	26 квітня	
4	Розробка режимів і технологій термічної обробки	19 травня	
5	Технічний контроль, попередження та виправлення браку	30 травня	
6	Охорона праці та безпека життєдіяльності	01 червня	
7	Спеціальна частина	08 червня	

Студент(ка)
(підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

_____ Анна ПЕТРОВА

Керівник проєкту (роботи)

_____ Юлія КОНОНЕНКО

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до бакалаврської роботи: 74 с., 12 табл., 14 рис., 4 дод., 19джерел.

ФРЕЗА ВІДРІЗНА, Р6М5, ТЕРМІЧНЕ ОБРОБЛЕННЯ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, ШВИДКОРІЗАЛЬНА СТАЛЬ, КОНТРОЛЬ, МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ; АУСТЕНІТ ЗАЛИШКОВИЙ

Об'єкт розробки – відрізна фреза зі сталі Р6М5.

Мета роботи – дослідження впливу легувальних елементів сталі Р6М5 на її технологічні властивості при виготовленні фрези відрізної. Головною метою є встановлення оптимального складу легування для досягнення найкращих експлуатаційних властивостей фрез, таких як міцність, твердість, стійкість до зношування, теплостійкість тощо. Для досягнення цієї мети необхідно провести огляд літературних джерел та проаналізувати наявні дослідження щодо легувальних елементів, використовуваних у сталі Р6М5, та їх впливу на властивості сталі. Також, визначити методи досліджень, які дозволять оцінити вплив різних легувальних елементів на експлуатаційні властивості фрез.

ЗМІСТ

	С.
Вступ	6
1 Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалів	7
2 Номенклатура та маршрутна технологія виготовлення виробів	12
3 Характеристика матеріалів виробів	16
4 Розробка режимів та технологій термічної обробки	24
5 Технічний контроль, попередження та виправлення браку	44
6 Охорона праці та безпека життєдіяльності	51
7 Спеціальна частина	58
Висновки	67
Перелік джерел посилань	69
Додаток А Дискова відрізна фреза та матеріал для її виготовлення	72
Додаток Б Графік термічної обробки дискової відрізної фрези, виготовленої зі сталі Р6М5	73
Додаток В. Вибір температури гартування сталі Р6М5	74
Додаток Г Вплив модифікування на будову евтектики сталі Р6М5	75

ВСТУП

Дослідження впливу легувальних елементів на властивості матеріалів є актуальною темою в сучасній металургії та інженерії. У сфері виробництва різального інструменту, зокрема відрізних фрез, велике значення має використання високоякісних сталей, що забезпечують високу зносостійкість, міцність та довговічність інструменту.

Одним з найпоширеніших матеріалів для виготовлення відрізних фрез є сталь Р6М5. Цей матеріал має досить високу міцність, зносостійкість та твердість, що робить його популярним у різних галузях промисловості. Однак, щоб поліпшити його експлуатаційні властивості та відповідати вимогам сучасного виробництва, важливо дослідити вплив легувальних елементів на його властивості.

Метою даної дипломної роботи є проведення аналізу даних з метою вивчення впливу легувальних елементів на забезпечення експлуатаційних властивостей відрізних фрез зі сталі Р6М5.

Результати даної роботи можуть бути корисними для виробників різального інструменту, які зацікавлені у поліпшенні якості та ефективності відрізних фрез. Вивчення впливу легувальних елементів на забезпечення експлуатаційних властивостей сталі Р6М5 відрізних фрез сприятиме розробці нових матеріалів та оптимізації процесу їх виготовлення.

Отримані результати можуть стати підставою для подальших досліджень у галузі вдосконалення виробництва відрізних фрез та розробки нових матеріалів з покращеними експлуатаційними властивостями. Власні висновки та рекомендації роботи будуть використані для подальшої розробки технологій виготовлення різального інструменту, спрямованих на поліпшення якості та продуктивності відрізних фрез.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИРОБІВ, ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛІВ

На рис. 1.1 показаний ескіз відрізної фрези, яка відноситься до різального інструменту.

Фрези відрізні-прорізні ГОСТ 2679-2014 (ISO 2296:2011) [1] призначені для відрізних і прорізних робіт по сталі середньої твердості і чавуну на фрезерному універсальному та автоматизованому обладнанні, в тому числі на верстатах з ЧПУ, використовуються як інструмент для заготівельних операцій і прорізання пазів.

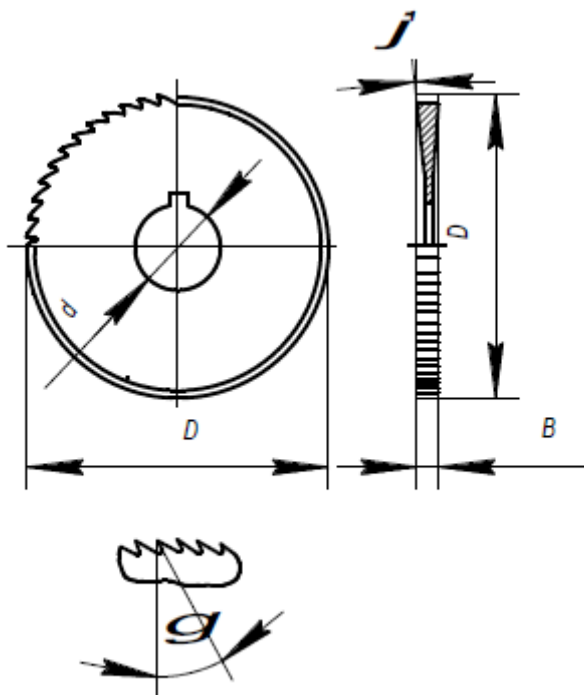


Рисунок 1.1 – Ескіз відрізної фрези [1]

Відрізні (рис. 1.1) та прорізні (шліцьові) фрези (ISO 2296:2011) виготовляють із дрібним, середнім і крупним зубами. Відрізні фрези з дрібним зубом призначені для фрезерування пазів, відрізання при обробці

сталі та чавуна. Фрези із крупним зубом – для обробки легких сплавів та кольорових металів. При виборі типу і кількості зубів варто враховувати характер обробки. Багатозубі фрези за інших рівних умов забезпечують більш високу хвилинну подачу внаслідок більшої кількості зубів. Однак при обробці крихких матеріалів умови розміщення стружки між зубами погіршуються, що може викликати зниження стійкості фрези, тому дрібнозубі фрези доцільно застосовувати тільки для обробки чавуну й інших крихких матеріалів [2].

Для різання м'яких сплавів, бронзи, міді, латуні було запропоновано своєрідну конструкцію вузької відрізної фрези зі швидкорізальної сталі (рис. 1.2,в). Різальні кромки фрези розташовані на різних відстанях від її осі таким чином, що кожен наступний зуб вище попереднього на 0,1 мм. Форма фрези забезпечує гарний відвід стружки і мале нагрівання при роботі.

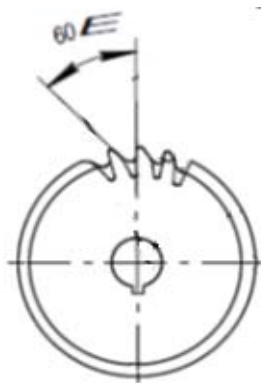
Проста фреза для відрізки заготовок з текстоліту і гетинаксу (рис. 1.2, г). Зуби фрези оснащені твердим сплавом Т15К6. Фреза може працювати з подачею 700...900 мм/хв. при товщині різа до 60 мм [2].

Фрези працюють у складних умовах (особливо ті, ширина яких менша 10 мм). При фрезеруванні глибоких пазів або відрізці заготовок великих діаметрів і розмірів відбувається інтенсивний знос різальних кромок при вершинах, заклинювання і поломка зубів, несприятливі умови стружкоутворення і дроблення стружки по ширині фрезерованої поверхні.

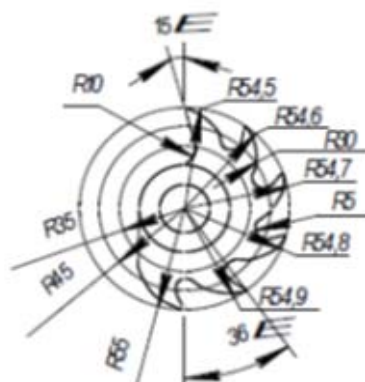
Для обробки пазів у деталях з важкооброблюваних матеріалів застосовуються дискові фрези і пили, оснащені пластинками із надтвердих матеріалів (ПНТМ). Вони виконуються з монолітними або двошаровими різальними елементами, що кріпляться методом пайки з наступним заточуванням. Випускають дискові фрези з механічним кріпленням змінних вставок, оснащених ПНТМ, для обробки пазів у деталях із загартованих сталей.

Конструктивне виконання фрези забезпечує скорочення витрат швидкорізальної сталі на 50—60 % і багаторазове використання корпусу

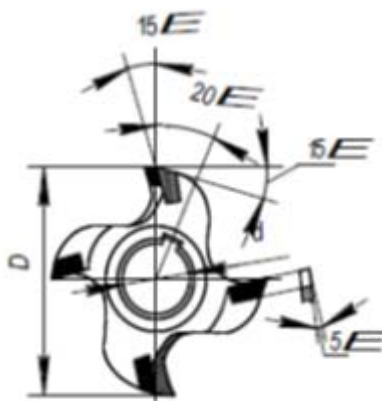
фрези. Стійкість клеєзбірної фрези в 1,5 рази вище стійкості напаяних фрез [1].



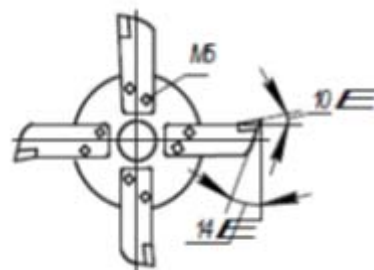
а)



б)



в)



г)

а—конструкційних сталей; б, в—легких і м'яких сплавів;
г—текстоліту і гетинаксу

Рисунок 1.2 – Відрізнi фрези для обробки [2]

Низька якість обробки відрізними фрезами пояснюється важкими умовами їх роботи і високим рівнем вібрацій через зміну кількості одночасно працюючих зубців, зміну товщини шару матеріалу, що зрізується кожним зубом тощо [3].

Фреза в процесі експлуатації знаходяться в складно напруженому стані, піддаючись динамічним згинальним і обертальним навантаженням, зношенню, розігріву внаслідок виділення тепла при терті об оброблюваний матеріал. При фрезеруванні глибоких пазів або відрізання заготовок великих діаметрів і розмірів відбувається інтенсивне зношення різальних кромek на вершинах, заклинювання і поломка зубів, несприятливі умови стружкоутворення і дроблення стружки по ширині фрезерованої поверхні.

Усе це викликає порівняно важкі умови процесу стружкоутворення, високі деформації шару, що зрізається, підвищене тепловиділення і нагрівання фрези. На температуру різання при фрезеруванні швидкість різання впливає більше, ніж подача. Чим вище механічні властивості оброблюємого металу, тим менша швидкість фрезерування, що допускається фрезою [4].

У процесі фрезерування різальна частина інструмента впроваджується в оброблювану деталь і відриває частки металу. Для цього необхідна висока твердість робочої частини різального інструменту, яка має перевищувати твердість оброблюємого матеріалу, оскільки на інструмент діють великі сили, що найчастіше мають пульсуючий характер. Інструмент із недостатньою твердістю не може різати: його форма й розміри швидко змінюються. У процесі роботи відбувається безперервне тертя – зношування поверхні різальної кромки інструмента. Тому фреза відрізна повинна мати високу зносостійкість. Основними причинами виходу з ладу відрізних фрез є поломка зубців внаслідок заклинювання стружки в стружкових канавках та поломка корпусу інструмента внаслідок вібрацій, що призводить до заклинювання диску фрези в матеріалі заготовки.

Велике значення має теплопровідність інструментального матеріалу. Чим теплопровідність нижча, тим менша тепловіддача і вища температура інструменту в процесі різання. Теплостійкість (червоностійкість), як і теплопровідність, залежить від хімічного складу і структури

інструментального матеріалу. Теплостійкість – здатність матеріалу зберігати свої фізико-механічні властивості до високих температур (600-640°C) [5].

Відхилення хімічного складу від встановленого стандартом заважає виконанню термічної обробки й вимагає зміну режимів. Забруднення сталі неметалевими включеннями знижує якість інструмента. При наявності пор у сталі порушується суцільність металу і відбувається викришування різальних крайок фрези. Крім вказаних вище вимог матеріал фрези повинен володіти високою міцністю на згин і крутіння, а також в'язкістю (при низькій в'язкості утворюються тріщини, відбувається викришування та поламка інструменту).

Поряд з властивостями, що визначають працездатність інструменту, дуже важливі технологічні характеристики інструментальних сталей, до яких відносяться: пластичність сталей в холодному і гарячому стані, оброблюваність різанням, прогартовуваність, загартованість, схильність до росту зерна аустеніту і знеуглецювання при нагріванні під гартування, шліфування [5].

Проаналізувавши умови експлуатації, вимоги до матеріалу фрези відрізної, можна зробити висновок, що оптимальним матеріалом для виготовлення фрези є швидкорізальні сталі.

2 НОМЕНКЛАТУРА ТА МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ

Номенклатура – це перелік виробів, які обробляються у виробничому підрозділі. В дипломній роботі розглядається група однотипних за умовами експлуатації та вимогами до матеріалів виробів – фрези дискові відрізні. В таблиці 2.1 наведений перелік різального інструменту, що оброблюється в термічному відділі інструментального цеху.

Таблиця 2.1 – Перелік різального інструменту, що оброблюється в термічному відділенні інструментального цеху[1]

Назва виробу	Матеріал виробу	Маса виробу, кг	Розміри виробу, мм			Вимоги до матеріалу
			D	d	B	
Фреза відрізна	P6M5	0,5	200	32	2	Теплостійкість 620°C, 62-65HRC,
Фреза відрізна	P6M5	0,78	160	32	5	
Фреза відрізна	P6M5	1,6	250	32	4	

Технологія виготовлення виробів на машинобудівних інструментальних, спеціальних заготівельних підприємствах уявляє собою логічну послідовність технологічних операцій виконання яких дозволяє отримати якісні вироби із відповідними характеристиками та властивостями матеріалу. У процесі виготовлення виробу, деталь проходить кілька етапів термічної обробки.

Маршрутна технологія уявляє собою рух заготовок по цехам та відділенням підприємства, в ній зазначаються виконувані операції, які

можуть повторюватися, але мати різне призначення, режими та забезпечувати зміну форми, розмірів, шорсткості поверхні, мікроструктури та властивостей.

Згідно маршрутної технології, такий процес включає попередню, основну та додаткову термічну обробку, що наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Маршрутна технологія виготовлення фрези відрізної зі сталі Р6М5

Назва операції	Цех(дільниця)	Призначення
1	2	3
1.Вхідний контроль	Заготівельний цех	Контроль хімічного складу, розмірів, відсутності дефектів
2.Заготівельна	Заготівельний цех	Отримання заготовок із прокату для наступного кування
3.Кування	Ковальський цех	Надання необхідної форми, розмірів, та створення сприятливої макроструктури
4.Попередня термічна обробка	Термічне відділення ковальського цеху	Отримання рівноважної структури, зменшити структурну неоднорідність, знизити твердість (ізотермічний відпал)
5.Механічне оброблення (попереднє)	Інструментальний цех	Надання заготовці необхідних форми та розмірів.
6.Основна термічна обробка	Термічне відділення інструментального цеху	Отримання необхідної структури та властивостей (гартування та триразове відпускання)

Кінець таблиці 2.2

1	2	3
7.Остаточне механічне оброблення	Інструментальний цех	Надання виробу остаточних розмірів, геометрії, шорсткості, відповідно робочим кресленням
8.Додаткова термічна обробка (ціанування)	Хіміко-термічне відділення інструментального цеху	Зниження рівня залишкових напружень, підвищення твердості, зносостійкості і границі витривалості.
9.Контроль	Інструментальний цех	Повний контроль виробу відповідно робочому кресленню

Згідно з таблицею 2.1 виготовлення відрізної фрези зі сталі Р6М5 буде складатися з наступних операцій:

1.Вхідний контроль проводиться для контролю хімічного складу (ГОСТ 19265-73), розмірів, макроструктури та відсутності дефектів гарячекатаного прокату.

2.Заготівельна операція проводиться для того, щоб отримати заготовки необхідного розміру.

3. Для даного інструменту метод отримання заготовки може бути такий: 1) кування або штампування; 2) відрізання від прутка (прокату).Куваннянеобхідне для надання необхідної форми, розмірів, та створення сприятливої макроструктури.

4. Попередня термічна обробка включає в себе: відпал при температурах 840-860°C, охолодження зі швидкістю 40°C/год до температури 720-730°C, потім витримка не менше 4 год., охолодження зі швидкістю 50°C/год до 600°C на повітрі. Твердість після відпалу не більше

255 HB. Проводиться для структурної перекристалізації із метою усунення перегрівання, зниження твердості та для підготовки мікроструктури до наступної термічної обробки.

5.Механічне обробленняпроводиться для надання деталі необхідних форм та розмірів.

6.Основна термічна обробка включає в себе: гартування при температурі 1200-1230°C,охладження в маслі. Триразовий відпуск по 1 годині при температурі 550°C, проводиться в захисному середовищі. Твердість після відпуску 63-64 HRC. Проводиться для отримання необхідної структури та властивостей різальної частини.

7.Остаточне механічне обробленнязабезпечує остаточні розміри та стан поверхні.

8.Додаткова термічна обробка (ціанування) уявляє собою процес зниження рівня залишкових напружень, підвищення твердості,зносостійкості і границі витривалості.

9.Контрольна операція забезпечує повний контроль виробу у відповідності з робочим кресленням.

У результаті проведеного аналізу маршрутної технології можливо ідентифікувати конкретні етапи процесу, що спричиняють зміну структури та властивостей. Серед них варто відзначити попередню термічну обробку та основну термічну обробку.

3 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ВИРОБІВ

У дипломній роботі розглядається інструмент – дискова відрізна фреза, яка виготовляється з інструментальної швидкорізальної сталі Р6М5.

У порівнянні з інструментальними сталями, що не відрізняються високою теплостійкістю, швидкорізальні сталі забезпечують великі швидкості різання, при цьому стійкість ріжучої кромки зростає в 10-30 разів.

Швидкорізальна сталь використовується як інструментальний матеріал для виготовлення практично всіх видів різального інструменту. Крім того, швидкорізальна сталь застосовується для ряду деталей, що працюють при підвищених температурах (підшипники кочення, штампи та ін.). Це пов'язано з тим, що швидкорізальна сталь, як жоден інший інструментальний матеріал, поєднує в собі високі фізико-механічні, технологічні та експлуатаційні властивості

Розглянемо швидкорізальну сталь марки Р6М5. В таблицях 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 та 3.5 наведені відповідно дані щодо хімічного складу, температур критичних точок, властивостей матеріалів в стані постачання, режимів кінцевої термічної обробки та залежність твердості та кількості аустеніту залишкового від температури гарту сталі Р6М5.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад сталі Р6М5 (аналог AISI M2) (ASTM A600-92a(2016)) [6]

Матеріал	Масова частка елементів, %									
	C	W	Cr	V	Mo	Mn	Si	Ni	S	P
	не більше									
Р6М5	0,85- 0,95	5,5- 6,5	3,0- 3,6	2,0- 2,5	5,0	0,4	0,5	0,4	0,03	0,03

Таблиця 3.2. – Критичні точки сталі Р6М5, °С [6]

Марка сталі	A_{c1}	A_{cm}	A_{rcm}	A_{r1}	$M_{п}$
Р6М5	815	880	790	730	145

Таблиця 3.3 – Властивості сталі Р6М5 у стані постачання [5]

Матеріал	Густина, кг/м ³	Режими попередньої термічної обробки (ізотерм. відпал)	НВ, МПа не більше	Масова частка карбідної фази, %
Р6М5	8100	Нагрівання 840-860°C, охолодження до 720-730°C із піччю зі швидкістю 50°C/год, ізотермічна витримка при 720-730 °C, охолодження з піччю зі швидкістю 50°C/год до 600°C далі охолодження на повітрі.	2550	22

Таблиця 3.4 – Режими кінцевої термічної обробки та властивостей сталі [5]

Матеріал	Температура, °С		HRC	$\sigma_{зГ}$, МПа	Теплостійкість (HRC 58), °С
	Гартування	Відпуск			
Р6М5	Перший підігрів здійснюється до 450-460°C, другий підігрів 830-850°C, остаточний нагрів під гартування 1220-1230°C охолодження в маслі до кімнатної температури	540-560°C, три рази по 1 годині	63-65	3200 - 3600	620

На рис. 3.1. показана діаграма ізотермічного розпаду переохолодженого аустеніту сталі Р6М5, яка має два мінімуми стійкості аустеніту:

1. Перетворення $A \rightarrow П$, при якому мінімальна стійкість переохолодженого аустеніту складає 600 с при температурі 740°C

2. Перетворення $A \rightarrow Б$, при якому мінімальна стійкість переохолодженого аустеніту складає 1500 с.

Таблиця 3.5 – Залежність твердості та кількість аустеніту залишкового від температури гарту в сталі Р6М5 [6]

t, °C	Твердість HRC	Кількість аустеніту залишкового, %
1210	65	29
1220	64,5	31,5
1230	64	34
1260	63	-
1270	61	-

Вольфрам, молібден та хром, які є основними легувальними елементами сталі Р6М5, а також є сильними карбідоутворювальними елементами, сильно зсувають С-подібну криву праворуч, а також розділяють області перлітного та бейнітного перетворень. Розчиняючись в аустеніті, знижують положення інтервалу мартенситного перетворення.

Розрахуємо критичну швидкість охолодження $V_{кр}$ за допомогою діаграми ізотермічного перетворення переохолодженого аустеніту для сталі Р6М5 (рис. 3.1):

$$V_{кр} = (t_n - t_{мин.ст.А.}) / 1,5 \cdot \tau_{мин.ст.А.},$$

де t_n – температура нагрівання; $t_n = 1250^\circ\text{C}$;

$t_{\text{мін.ст.А}}$ – температура мінімальної стійкості аустеніту; $t_{\text{мін.ст.А}} = 750^{\circ}\text{C}$;

$\tau_{\text{мін.ст.А}}$ – час до мінімальної стійкості аустеніту. $\tau_{\text{мін.ст.А}} = 600\text{с}$.

$$V_{\text{кр}} = (750 - 600) / 1,5 \cdot 600 = 1,67^{\circ}\text{C/с}.$$

Швидкорізальна сталь Р6М5 у рівноваговому стані відноситься до ледебуритного класу, а у нормалізованому – до мартенситного класу.

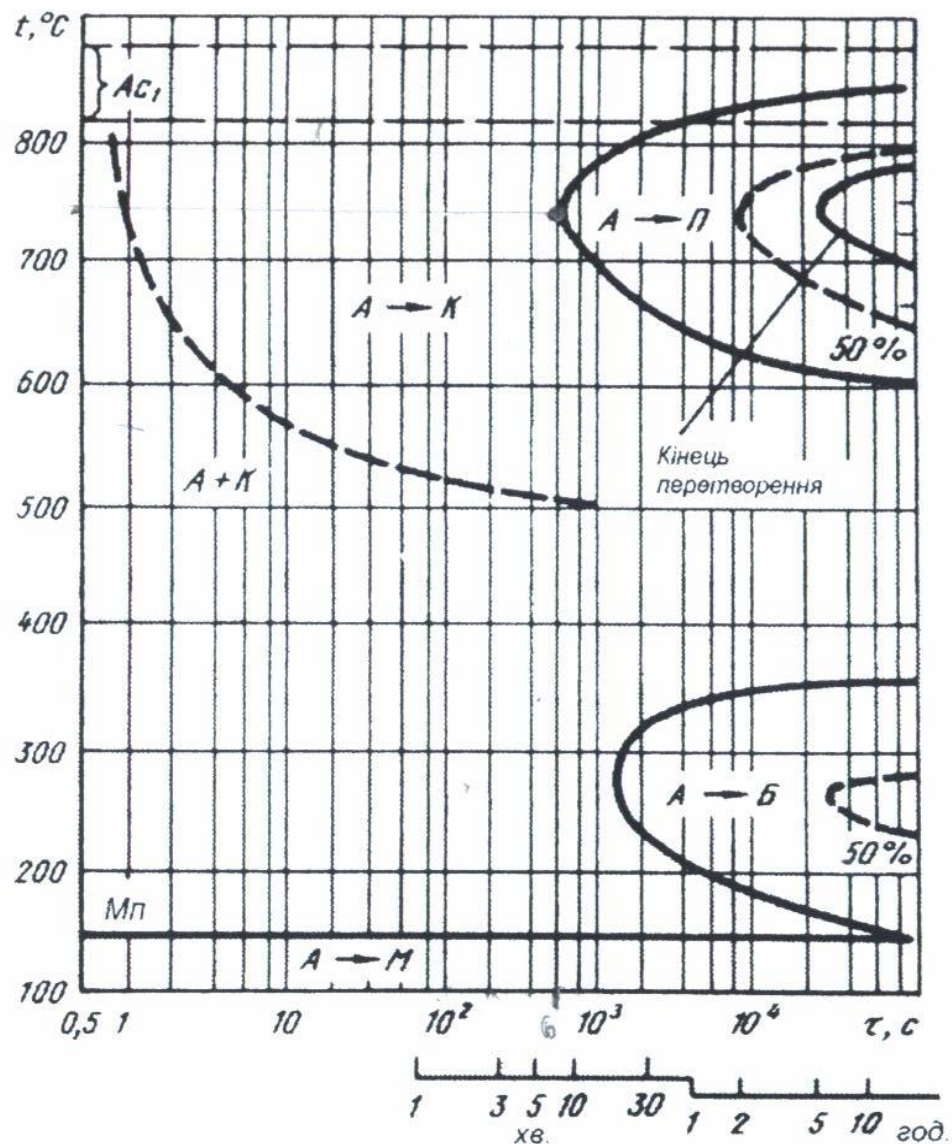


Рисунок 3.1 – Діаграма ізотермічного перетворення переохолодженого аустеніту сталі Р6М5[7]

Теплостійкість цієї сталі складає 620°C . З підвищенням температури до $500\text{--}600^{\circ}\text{C}$ міцність сталі Р6М5 знижується сильніше, а в'язкість зростає. Твердість після відпалу знижується, що забезпечує трохи кращу оброблюваність різанням. Її шліфовність задовільна. В сталях окремих плавок при гартуванні з температур, які прийняті як оптимальні, наявні більш крупне зерно та знижена міцність (рис.3.2).

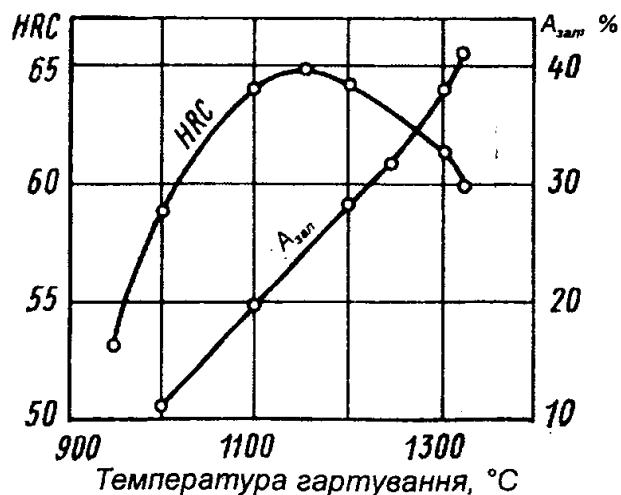


Рисунок 3.2 – Твердість та кількість залишкового аустеніту в швидкорізальній сталі Р6М5 в залежності від температури гартування[5]

Це спостерігається головним чином при вмісті вуглецю, наближеному до верхньої границі для марки, тому що вуглець знижує температури гартування. Для підвищення стабільності властивостей треба встановлювати вміст вуглецю в цих сталях у більш вузьких границях: $0,7\text{--}0,8\%$. Густина відпаленої сталі Р 6М5 – 8100 кг/м^3 . Розглянемо вплив легувальних елементів на структуру та властивості сталі Р6М5.

Вплив вуглецю. Його вміст у сталях помірної теплостійкості: $0,7\text{--}0,95\%$. Більше вуглецю в цих границях установлюють у сталях з підвищеним вмістом ванадію; це необхідно для утворення карбіду МС без зайвого збіднення їм аустеніту (мартенситу) і погіршення прогартуваності.

Вплив молібдену. Вплив молібдену й вольфраму, що є хімічними аналогами, на перетворення й на деякі властивості швидкорізальної сталі

майже однаковий. У сталях з молібденом вони протікають лише при більш низьких температурах. Залізні кути діаграм Fe-Mo-C і Fe-W-C значно подібні. Молібден утворить карбід M_6C з такою ж граткою й близьким періодом, але меншою густиною, ніж карбід M_6C у сталі з вольфрамом.

Основними легувальними елементами, що забезпечують високу червоностійкість є вольфрам, молібден, ванадій. Крім цього, всі сталі легують хромом. Карбідоутворювальні елементи утворюють у сталі спеціальні карбіди: Me_6C на основі вольфраму і молібдену, MeC на основі ванадію і $Me_{23}C_6$ на основі хрому. Частину атомів Me становить залізо та інші елементи [5].

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

Вплив молібдену. Вплив молібдену й вольфраму, що є хімічними аналогами, на перетворення й на деякі властивості швидкорізальної сталі майже однаковий. У сталях з молібденом перетворення протікають лише при більш низьких температурах. Залізні кути діаграм Fe-Mo-C і Fe-W-C є подібними. Молібден утворює карбід M_6C з такою ж граткою й близьким періодом, але меншою густиною, ніж карбід M_6C у сталі з вольфрамом [5].

Вольфрам, як і молібден є тугоплавким елементом, а також сильним карбідоутворювачем. У сталь Р6М5 його вводять у великій кількості (6%), оскільки він утворює важкоплавкі карбіди Me_6C . При відпуску ці карбіди складно коагулюють і створюють ефект дисперсійного зміцнення сталі. Виділення таких спеціальних карбідів підвищує твердість після проведення

відпуску при 500-600°C, створюючи ефект вторинної твердості. Особливо ефективно такий ефект спостерігається при введенні одночасно декількох карбідоутворювачів, а саме молібдену, вольфраму та ванадію. При проведенні відпускання ванадій виділяється більш інтенсивно та підсилює дисперсійне твердіння, а вольфрам зберігається у твердому розчині – мартенситі й затримує його розпад [5].

Ванадій утворює в сталі найбільш твердий карбід VC (MeC). Максимальний ефект від введення в сталь ванадію досягається за умови, що вміст вуглецю в сталі буде достатнім для утворення великої кількості карбідів і для насичення твердого розчину. Карбід MeC, частково розчиняючись в аустеніті, збільшує червоностійкість і підвищує твердість після відпуску завдяки ефекту дисперсійного твердіння. Нерозчинена частина карбіду MeC збільшує зносостійкість сталі [5].

Хром у всіх швидкорізальних сталях міститься в кількості близько 4%. Він є основою карбіду Me_{23}C_6 . При нагріванні під гартування цей карбід повністю розчиняється в аустеніті за температур, значно нижчих, ніж температури розчинення карбідів Me_6C і MeC. Внаслідок цього основна роль хрому в швидкорізальних сталях полягає в наданні сталі високої прогартуваності. Він впливає і на процеси карбідоутворення під час відпуску [5].

Сірка є шкідливою домішкою, що сприяє червоноламкості. У ледебуритних сталях негативна роль сульфідів, що утворюються, менша через присутність у структурі значно більшої кількості надлишкових карбідів, які можуть також погіршувати ці властивості. Крім того, сульфіди за низьких температур початку затвердіння цих сталей часто слугують центрами кристалізації і присутні всередині великих евтектичних карбідів. Їхня кількість зменшується на межі зерен. Для зменшення кількості сірки (до 0,015 %) використовують електрошлаковий переплав [5].

Фосфор також є шкідливою домішкою. За вмісту фосфору більш ніж 0,02-0,03 % помітно знижується в'язкість і міцність, посилюються спотворення в гратці мартенситу[5].

4 РОЗРОБКА РЕЖИМІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

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

В таблицях 3.3, 3.4 було наведено оптимальний режим термічної обробки для фрези відрізної, виготовленої зі сталі Р6М5. До основних операцій відносяться: ізотермічний відпал, гартування, відпускання, до допоміжних операцій слід віднести: промивання виробу від солей, контрольні операції.

Вибір основних операцій ТО необхідно здійснювати так, щоб технологія була високопродуктивною, забезпечувала б найбільш раціональне використання матеріальних та енергетичних ресурсів і головне – високу якість продукції. На рис. 4.1 наведений графік термічної обробки фрези відрізної зі сталі Р6М5.

Ізотермічний відпал проводять 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 [6].

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. Завершальна термічна обробка, що формує експлуатаційні властивості інструменту, складається з гартування та триразового відпускання [7].

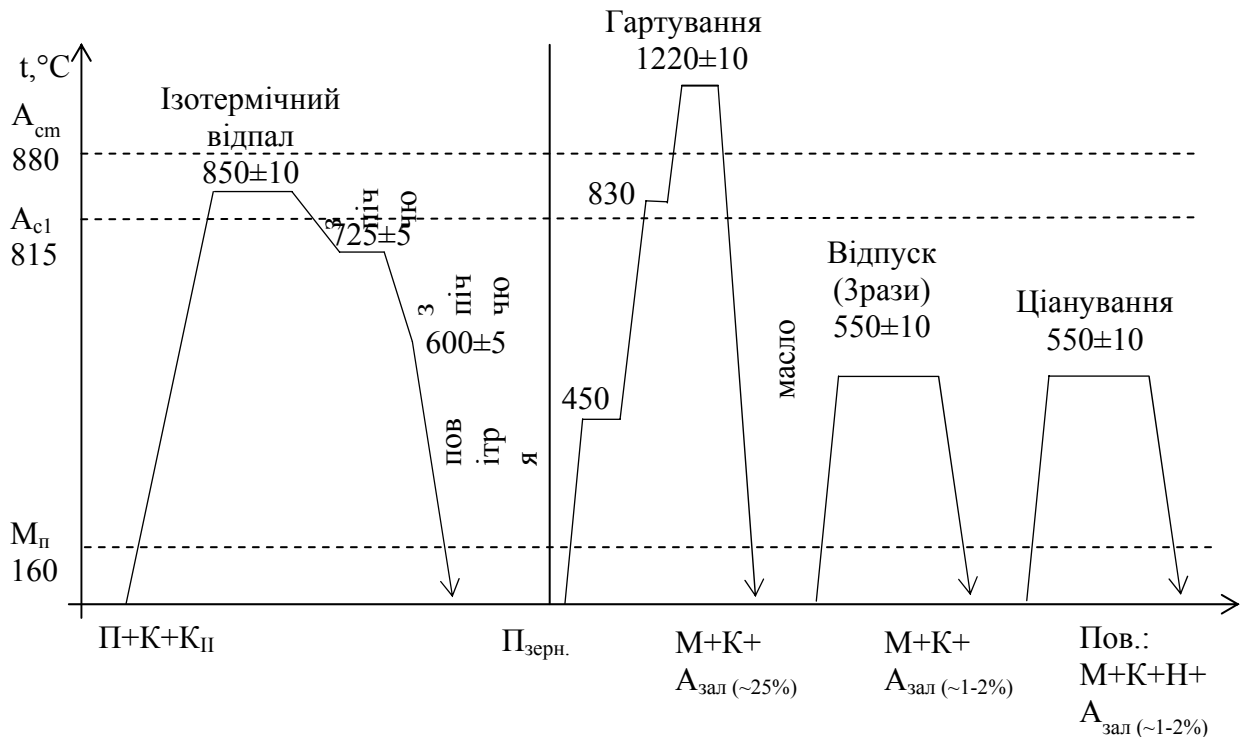


Рисунок 4.1 – Графік термічної обробки фрези відрізної зі сталі Р6М5

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

Висока температура гартування $1200-1230^\circ\text{C}$ для сталі Р6М5 (на $400...450^\circ\text{C}$ вище A_1) необхідна 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 (див. табл. 3.4).

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 утворюється структура $M + A_{\text{зал}(25\%)} + K$.

При повільному охолодженні із високих температур (наприклад, на повітрі) можуть виділитися карбіди, які збіднюють твердий розчин на легувальні елементи, що погіршує різальні властивості (рис .4.2). Після гартування сталь має твердість 60 ... 62 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 [6].

Після гартування проводиться триразовий відпуск при 550°C та витримкою 1 година для зменшення в структурі м'якої фази аустеніту залишкового та виділення дисперсних карбідів. 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 аустеніту залишкового на мартенсит поступово підвищується, при охолодженні нижче 200°C , відбувається перетворення аустеніту залишкового в мартенсит. Ці процеси протікають при кожному відпусканні і тому кількість аустеніту залишкового 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

оохолодженні нижче точки M_n (160°C) підлягає мартенситному перетворенню. Однократне відпускання не забезпечує перетворення всього залишкового аустеніту, тому використовують триразове відпускання із витримкою впродовж однієї години та охолодженні на повітрі. При цьому кількість залишкового аустеніту знижується до 3-5%, а твердість сталі досягає 63...65 HRC. Структура, яку отримали після обробки наведено на рис.4.3. Висока твердість сталі після відпуску обумовлена збереженням високолегованої мартенситної структури, дисперсійним твердінням та перетворенням аустеніту на мартенсит.

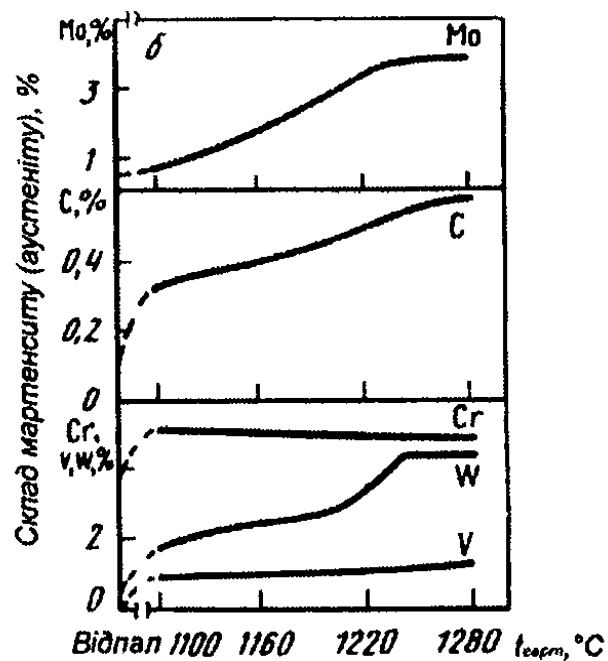


Рисунок 4.2 – Вплив температури аустенізації сталі P6M5 на склад твердого розчину після гартування [5]



Рисунок 4.3 – Мікроструктура сталі Р6М5 після оптимального режиму термічної обробки[5]

В таблицях 4.1 та 4.2 наведені дані щодо твердості та міцності сталі в залежності від температури гартування (відпуск при 550°C) та вплив температури відпуску на твердість та міцність при згині сталі Р6М5.

Таблиця 4.1 – Твердість та міцність сталі в залежності від температури гартування (відпуск при 550°C) [6]

Температура гартування, °C	1180	1200	1220	1240	1260
σ_{zg} , МПа	3300	3500	3300	2500	1900
Твердість HRC	62	63	64	65,5	65,5

Таблиця 4.2 – Вплив температури відпуску на твердість та міцність при згині сталі. Температура гартування 1220°C [5]

Температура відпускання, °C	50	100	150	200	250	300	350
σ_{zg} , МПа	1300	2000	2500	3000	3100	2800	2700
Твердість HRC	64	63	62	61	59	58	58
Температура відпускання, °C	400	450	500	550	600	620	660
σ_{zg} , МПа	2500	2300	2100	2000	3000		-
Твердість HRC	6369	61	62	65	63	55	51

Не менш важливим процесом хіміко-термічного оброблення є низькотемпературне ціанування різального інструменту, виготовленого зі швидкорізальної сталі. Мета низькотемпературного ціанування – підвищити стійкість інструмента 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°C протягом 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. Після проведення ціанування на поверхні інструменту утворюється структура мартенситу з аустенітом залишковим, а також карбіди, у більшій кількості порівняно з такою після відпуску, та карбонітриди легувальних елементів.

Ціанований шар характеризується великою твердістю(70...72 HRC) і зносостійкістю, також малим коефіцієнтом тертя з поверхнями оброблюваних деталей, що забезпечує високу стійкість інструменту при експлуатації. Міцність інструменту, виготовленого з швидкорізальної сталі після ціанування зростає у 150-300 одиниць по Віккерсу, а стійкість зростає в 1,5-2 рази.

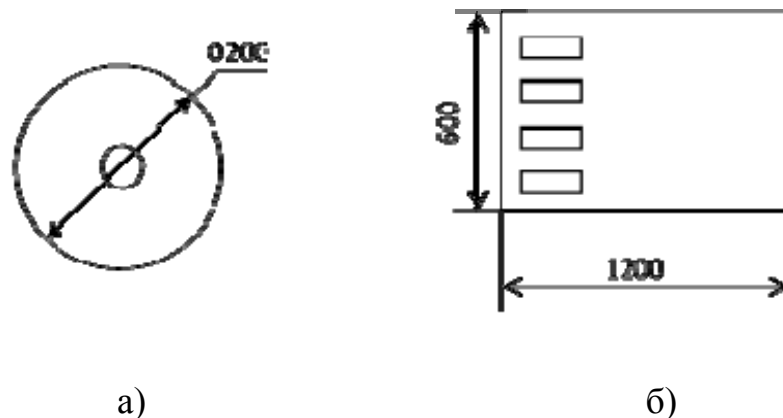
Дискові прорізні та відрізні фрези великого діаметру та малої товщини при нагріванні можуть деформуватися під впливом власної маси, тому їх слід нагрівати у вертикальному положенні на оправці. Охолоджувати прорізні та відрізні фрези необхідно в спеціальному пресі для гартування в штампах з охолоджуваними робочими поверхнями.

До допоміжних: операцій слід віднести операції в виробі, які не пов'язані зі зміною температури та структури. Промивання здійснюється для вилучення 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 80-95°C.

Для здійснення операції ізотермічного відпалу та першого підігріву при гартуванні обираємо камерні печі, у яких нагрівання відбувається у газовому середовищі, для того, щоб спростити технологічні операції та уникнути додаткового промивання виробів, як у випадку із розплавленими солями. Проте, при подальшому нагріванні при гартуванні необхідно використовувати печі-ванни, робоче середовище яких – розплавлена сіль. Це необхідно для зменшення ризику короблення інструменту, оскільки фреза відрізна є досить тонкою – 2мм при діаметрі 200мм; інтенсивного та рівномірного нагріву, що забезпечує рівномірну структуру; а також наявність на поверхні інструменту тонкої плівки солі, яка захищає поверхню інструменту від окислення при нагріванні та переносі в охолоджувальне середовище.

Для здійснення операції ізотермічного відпалу обираємо піч СНЗ-6.12.4/10[8]:С – електрична, Н – камерна, З – 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).

На рисунку 4.3 показана заготовка фрези з габаритним діаметром 200мм, посадковим діаметром 32мм, товщиною $B = 2\text{мм}$.



а – схема заготовки фрези відрізної; б – схема садки печі

Рисунок 4.3 – Схеми заготовки фрези відрізної та садки печі

СНЗ-6.12.4/10

Згідно [10] виконуємо наступні розрахунки: кількість виробів що поміщуються по ширині робочого простору печі СНЗ-6.12.4/10:

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

де Ш – ширина робочого простору, 600мм;

B – товщина заготовки, 2мм;

Тобто

$$n_{\text{ш}} = 600 / (2 + 4) = 100 \text{ шт.}$$

Розрахуємо кількість виробів що поміщуються по довжині робочого простору печі:

$$n_{\text{д}} = D / (D + D/2),$$

де D- довжина робочого простору, 1200мм;

D – діаметр заготовки, 200 мм;

Отже, отримуємо

$$n_{\text{д}} = 1200 / (200 + 100) = 4 \text{ шт.}$$

Тоді в одному ярусі розташовується:

$$n_{\text{яр}} = n_{\text{ш}} \cdot n_{\text{д}} = 100 \cdot 4 = 400 \text{ шт.}$$

Оскільки висота робочого простору печі 400мм, а габаритний діаметр фрези 200мм, то вироби будуть розташовані в один ярус.

Кількість виробів в печі тоді:

$$N = 400 \text{ шт.}$$

Щоб розрахувати масу садки, треба визначити масу фрези:

$$m=V \cdot \rho = \pi(D^2-d^2)/4 \cdot B \cdot \rho,$$

де V – об'єм заготовки,

ρ – густина сталі з якої виготовляється заготовка (Р6М5),

Отже, маса одного інструменту становить:

$$m = 3,14 \cdot (0,2^2 - 0,032^2) / 4 \cdot 0,002 \cdot 8100 = 0,5 \text{ кг.}$$

Розрахуємо масу садки :

$$M_c = N \cdot m = 400 \cdot 0,5 = 200 \text{ кг.}$$

Перший підігрів інструменту під гартування здійснюється в печі СНО-3,5.8.4/6,5 [8]: С – електрична, Н – камерна, О – окисне середовище, з шириною 350 мм, довжиною 800мм, висотою 400мм, максимальний нагрів до температури 650°C. Робоче середовище – ендогаз ($CO \sim 19\%$, $H_2 \sim 41\%$, решта N_2).

Розраховуємо кількість виробів що поміщуються по ширині робочого простору печі СНО 3,5.8.4/6,5:

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

де Ш – ширина робочого простору, 350мм;

D – діаметр заготовки, 200мм;

$$n_{\text{ш}} = 350 / (200 + 100) = 1 \text{ шт.}$$

Розрахуємо кількість виробів що поміщуються по довжині робочого простору печі:

$$n_{\text{ш}} = D/(B+2B),$$

де D – довжина робочого простору, 800мм;

B – товщина заготовки, 2мм;

Отримуємо

$$n_D = 800/(2+4) = 133 \text{ шт.}$$

Тоді в одному ярусі розташовується:

$$n_{\text{яр}} = n_{\text{ш}} \cdot n_D = 133 \cdot 1 = 133 \text{ шт.}$$

Оскільки фрези занурюються в спеціальних оправках, то буде лише один ярус виробів. Розрахуємо масу садки :

$$M_c = N \cdot m = 133 \cdot 0,5 = 66,5 \text{ кг.}$$

Другий підігрів під гартування здійснюється в печі СВС 3,5.8.4/8,5 [8]:
 S – електрична, B – піч ванна, C – робоче середовище сіль, з такими розмірами робочого простору: ширина – 350 мм, довжина – 800мм, висота – 400мм, максимальний нагрів до температур 850°C. Робоче середовище – 78% $BaCl_2$, 22% $NaCl$. Оскільки вироби одразу переносяться з печі СНО-3,5.8.4/6,5 для подальшого нагрівання, то розташування, кількість виробів і маса садки буде такою ж, $M_c = 66,5$ кг.

Для остаточного нагріву під гарт обираємо піч СВС 3,5.8.4/13 [8]: S – електрична, B – піч ванна, C – робоче середовище сіль, з шириною робочого простору 350 мм, довжиною 800 мм, висотою 400 мм, максимальний нагрів до температури 1300°C. Робоче середовище – 100% $BaCl_2$.

Через те, що розміри робочого простору печі будуть такі ж як і при другому підігріві, то і садка буде такою ж. $M_c = 66,5$ 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 . Робоче середовище – $85\%\text{KNO}_3 + 15\%\text{NaOH}$.

Для ціанування обираємо піч СВС 3,5.8.4/6 [8]: С – електрична, В – піч ванна, С – робоче середовище сіль, з такими розмірами робочого простору: ширина – 350 мм, довжина – 800мм, висота – 400мм, максимальний нагрів до температури 600°C . Робоче середовище – розплав ціанистих солей $\text{NaCN} + 55-50\%\text{Na}_2\text{CO}_3$. Садка буде аналогічною відпуску.

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

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{в}}, \quad (4.1)$$

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

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

Для визначення часу нагрівання $\tau_{\text{н}}$ можна використовувати методику приблизного розрахунку [10]. Ця методика базується на тому, що садка металу складається з простих за формою виробів (куля, циліндр, призма і т.ін.) при нескладному їх розташуванні в один або декілька шарів з забезпеченням певних відстаней між виробами і без урахування негативної дії нерухомих прошарків нагрівального середовища. Тоді тривалість нагрівання визначається за формулою:

$$\tau_{\text{н}} = S \cdot k \cdot f \cdot L_{\text{л}}, \quad (4.2)$$

де S – характеристичний розмір виробу, мм;

k – коефіцієнт форми;

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

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

Час витримки $\tau_{\text{в}}$, хв., при заданій температурі розраховується з таблиць [7].

Ізотермічний відпал (піч СНЗ-6.12.4/10) .

Згідно (4.1):

S - характеристичний розмір виробу, мм, $S = 2$ мм;

k - коефіцієнт форми, $k=2$;

f - коефіцієнт розташування виробів в нагрівальному пристрої, що впливає на час нагрівання, хв. $f = 1,3$;

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

Отримуємо

$$\tau_{\text{н}} = 2 \cdot 2 \cdot 1,3 \cdot 1,72 = 8,94 (\text{хв.}) = 0,149 (\text{год.}).$$

$$\tau_{\text{в1}} = 2 \text{ хв на 1 мм товщини} = 2 \cdot 2 = 4 (\text{хв.}) = 0,07 (\text{год.}).$$

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

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

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

$V_{\text{ох}}$ – швидкість охолодження із піччю, °C/с, $V_{\text{ох}} = 40^{\circ}\text{C/с}$.

$$\tau_{\text{ох1}} = (t_{\text{п}} - t_{\text{к}}) / V_{\text{ох}} = 850 - 20 / 40 = 2,125 (\text{год.})$$

Ізотермічна витримка при 725°C , тривалість витримки знаходиться за допомогою ізотермічної діаграми розпаду переохолодженого аустеніту сталі Р6М5, показаної на рисунку 3.1.

$$\tau_{B2} = 4 \cdot 10^4 \text{ с} = 500 \text{ хв.} = 8,3 \text{ (год.)},$$

$$\tau_{ox2} = (t_{п.} - t_{к.}) / V_{ox} = (725 - 600) / 50 = 2,5 \text{ (год.)},$$

де $t_{п}$ – температура початку охолодження, °C, $t_{п} = 725^{\circ}\text{C}$.

$t_{к}$ – температура кінця охолодження, °C, $t_{к} = 600^{\circ}\text{C}$.

V_{ox} – швидкість охолодження із піччю, °C/с, $V_{ox} = 50^{\circ}\text{C/с}$.

$$\tau_{ox3} = (t_{п.} - t_{к.}) / V_{ox} = (600 - 20) / 5 = 116 \text{ (с.)} = 1,93 \text{ (хв.)} = 0,03 \text{ (год.)},$$

де $t_{п}$ – температура початку охолодження, °C, $t_{п} = 600^{\circ}\text{C}$.

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

V_{ox} – швидкість охолодження на повітрі, °C/с, $V_{ox} = 5^{\circ}\text{C/с}$.

Всього тривалість ізотермічного відпалу згідно (4.1) становить:

$$\tau_{IB} = 0,149 + 0,07 + 2,5 + 8,3 + 2,5 + 0,03 = 13,55 \text{ (год.)}.$$

Гартування. Перший підігрів (піч камерна СНЗ-6.12.4/6,5):

$$\tau_{H1} = 2 \cdot 2 \cdot 1,3 \cdot 2,7 = 14,04 \text{ (хв.)}.$$

Тривалість витримки τ_{B1} при температурі першого підігріву – 450°C розраховуємо по формулі:

$$\tau_{B1} = 2 \cdot l,$$

де l – товщина виробу, мм

$$\tau_{B1} = 2 \cdot 2 = 4 \text{ хв.}$$

$$\tau_{H1} = \tau_{H1} + \tau_{B1} = 14,04 + 4 = 18,04 \text{ (хв.)}.$$

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[10]:

$$\tau_{н2}=\tau_{с.п.}=K_1 \cdot (V/F) \cdot K_{\phi} \cdot K_{и},$$

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

V/F – відношення об'єму до тепло сприймаючої поверхні зразків простої форми.

K_{ϕ} – критерій форми, який враховує вплив теплопередачі через різні поверхні гладких тіл при всебічному нагріванні.

$K_{и}$ – коефіцієнт конфігурації інструменту, який враховує зрізаність канавками фасонної частини робочої частини інструменту. $K_{и}=0,7$.

Для середньотемпературного прогрівання попередньо підігрітих до 400-500°C інструментів

$$K_1=12,5-0,025(t_n - 800),$$

де t_n – температура нагрівання, °C;

Для полого циліндру: $V/F=(D-d) \cdot H/(4H+2(D-d))$, см.

Для короткогополого циліндру $K_{\phi}=1+0,2 (H/(D-d))$.

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

$$V/F=((20-3,2) \cdot 0,2)/(4 \cdot 2+0,2 \cdot (20-3,2))=0,3067 \text{ (см.)}$$

$$K_{\phi}=1+0,2 (0,2/(20-3,2))=1,0023.$$

$$K_{и}=0,7.$$

$$\tau_{н2}=\tau_{с.п.}= 11,25 \cdot 0,3067 \cdot 1,0023 \cdot 0,7=2,42 \text{ (хв.)}.$$

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

$$\tau_{B2} = 2,5 + 0,3 \cdot 1 = 2,8 \text{ (хв.)}$$

$$\tau_{П2} = \tau_{H2} + \tau_{B2} = 2,42 + 2,8 = 5,22 \text{ (хв.)}.$$

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

Для високотемпературного нагрівання $K_1 = 8 - 0,013(t_H - 1000)$

$$K_1 = 8 - 0,013(1220 - 1000) = 5,14 \text{ (хв.)}$$

$$V/F = ((20 - 3,2) \cdot 0,2) / (4 \cdot 2 + 0,2 \cdot (20 - 3,2)) = 0,3067 \text{ (см.)}$$

$$K_\phi = 1 + 0,2 (0,2 / (20 - 3,2)) = 1,0023.$$

$$K_H = 0,7.$$

$$\tau_{П3} = \tau_{с.п.} = 5,14 \cdot 0,3067 \cdot 1,0023 \cdot 0,7 = 1,106 \text{ (хв.)}$$

$\tau_{B3} = 2,5 \text{ хв.} + 0,3 \text{ хв. на } 1 \text{ мм товщини виробу};$

$$\tau_{B3} = 2,5 + 0,3 \cdot 1 = 2,8 \text{ (хв.)}$$

$$\tau_{к.п.} = \tau_{П3} + \tau_{B3} = 1,106 + 2,8 = 3,9 \text{ (хв.)}$$

Час охолодження розрахуємо за формулою:

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

де $t_{п}$ – температура початку охолодження, °С

$t_{к}$ – температура кінця охолодження, °С

$V_{ох}$ – швидкість охолодження у маслі, 50°С/с

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

Загальний час гартування згідно (4.1) становить:

$$\tau_r = 18,04 + 5,22 + 3,9 + 0,4 = 27,56 \text{ (хв.)}$$

Відпуск (3 рази) (піч СВС-3,5.8.4/6). Розрахунок часу нагріву проводимо згідно (4.2):

$$\tau_H = 2 \cdot 2 \cdot 1,3 \cdot 0,5 = 2,6 \text{ (хв.)}.$$

Час витримки $\tau_B = 1$ (год.) взято з довідникових даних [7, 8].

Охолодження проводимо на повітрі зі швидкістю охолодження $V_{ox} = 5^\circ\text{C/с}$. Тоді час охолодження становить:

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

Отже, загальний час одного відпуску становить:

$$\tau_B = 2,6 + 60 + 1,8 = 64,4 \text{ хв.} = 1,07 \text{ (год.)}$$

Ціанування (піч СВС 3,5.8.4/6)

Час нагріву рахуємо згідно формули (4.2):

$$\tau_H = 2 \cdot 2 \cdot 1,3 \cdot 0,5 = 2,6 \text{ (хв.)}.$$

Час витримки згідно довідникових даних складає $\tau_B = 25$ хв. [7, 8]

Охолодження проводиться на повітрі; швидкість охолодження на повітрі V_{ox} складає 5°C/с . Отже, час охолодження на повітрі складає

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

$$\tau_{ц} = 2,6 + 25 + 1,8 = 29,4 \text{ (хв.)} = 0,49 \text{ (год.)}.$$

Також в процесі виготовлення фрези кінцевої використовують таке обладнання, як мийні машини, гартівні баки, гідравлічні преси.

Наведемо карту технологічного процесу термічної обробки фрези відрізної для обробки високоміцних неіржавіючих та жароміцних сталей і сплавів (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Карта технологічного процесу термічної обробки фрези відрізної зі сталі Р6М5

Ескіз виробу			Технічні вимоги до матеріалу			
			Марка сталі		Твердість HRC	
			Сталь Р6М5		≥64	
№ п/п	Операція	Обладнання (прилади)	Умови нагрівання	Умови охолодження	Назва пристосування, кількість виробів	Умови оброблення та контролю
1	2	3	4	5	6	7
1.	Контроль вхідний	Стилоскоп, вимірювальні інструменти, центра, індикатор	—	—	—	Хімічний склад, 3% від партії. 100% - стан поверхні та розмірів, 100% перевірка биття
2.	Ізотермічний відпал заготовки					Контролюється температура та тривалість нагрівання, садка, захисне середовище.
2.1	Нагрівання	СНЗ 6.12.4/10	- $t_{\text{п}} = 20^{\circ}\text{C}$ $t_{\text{к}} = 850 \pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{н}} = 8,94 \text{ хв}$ ендогаз		Оправки, 400шт	
2.2	Витримка	СНЗ 6.12.4/10	- $t_{\text{в}} = 850 \pm 10^{\circ}$ $\tau_{\text{в}} = 4 \text{ хв}$ ендогаз			Контролюється температура та тривалість витримки, садка, захисне середовище.
2.3	Охолодження до ізотермічної витримки	СНЗ 6.12.4/10	-	$t_{\text{н}} = 850^{\circ}\text{C}$ $t_{\text{к}} = 720^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{ох}} = 2,5 \text{ год.}$		Контролюється садка, захисне середовище, час та тривалість охолодження

Продовження таблиці 4.3

1	2	3	4	5	6	7
2.4	Витримка ізотермічна	СНЗ- 6.12.4/10	$t=720 \pm 10^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{в}}=8,3\text{год.}$			Контролюється температура та тривалість витримки, захисне середовище.
2.5	Охолодження	СНЗ 6.12.4/10	-	$t_{\text{н}}=720^{\circ}\text{C}$ $t_{\text{к}}=600^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{ох}}=2,5\text{го}$ д. Із піччю		Контролюється температура та тривалість охолодження, захисне середовище.
2.6	Охолодження	Стіл		$t_{\text{п}}=600^{\circ}\text{C}$ $t_{\text{к}}=20^{\circ}\text{C}$, повітря $\tau_{\text{ох}}=1,93\text{хв}$		Контролюється температура та тривалість охолодження
3	Контроль	Твердомір типу ТШ, мікроскоп.	—	—	—	Контролюється структура та твердість виробу.
4	Гартування				Оправки, 133шт	
4.1 4.1.1	1-ий підігрів Нагрівання	СНО 3,5.8.4/6,5	$t_{\text{н}}=20^{\circ}\text{C}$ $t_{\text{к}}=450 \pm 10^{\circ}\text{C}$. $\tau_{\text{н}}=18,04\text{хв}$			Контролюється температура та тривалість нагрівання, садка.
4.1.2	Витримка	СНО 3,5.8.4/6,5	$t=450 \pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{в}}=4\text{хв}$			Контролюється температура та тривалість витримки, садка.
4.2 4.2.1	2-ий підігрів Нагрівання	СВС 3,5.8.4/8,5	78%BaCl ₂ , 22 % NaCl $t_{\text{н}}=450 \pm 10^{\circ}\text{C}$ $t_{\text{к}}=830 \pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{н}}=2,42\text{хв}$			Контролюється темпера- тура та тривалість нагрівання, садка та середовище.
4.2.2	Витримка	СВС 3,5.8.4/8,5	$\tau_{\text{в}}=2,8\text{хв}$ $t_{\text{к}}=830^{\circ}\text{C}$. 78%BaCl ₂ , 22% NaCl			Контролюється температура та тривалість витримки, садка та середовище.

Продовження таблиці 4.3

1	2	3	4	5	6	7
4.3 4.3.1	Кінцевий підігрів Нагрівання	СВС 3,5.8.4/13	$t_{\text{п}}=830\pm 10^{\circ}\text{C}$ $t_{\text{к}}=1220\pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{н}}=1,1\text{хв}$ 100%BaCl ₂ .			Контролюється температура тривалість нагрівання, садка та середовище.
4.3.2.	Витримка	СВС 3,5.8.4/13	$t=1230\pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{в}}=2,8\text{хв}$ 100%BaCl ₂ .			Контролюється температура та тривалість витримки, склад середовища.
4.4	Охолодження до кімнатної температури.			Масло $t_{\text{н}}=1220\pm 10^{\circ}\text{C}$ $t_{\text{к}}=20^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{ох}}=0,4\text{хв}$		Контролюється температура, тривалість охолодження та середовище.
5	Правка	Гідравлічний прес	—	—	—	Місцевий підігрів
6	Промивання	Мийна машина	$t=70-90^{\circ}\text{C}$		Корзина, оправка	10% содовий розчин
7	Контроль поточний	ТК-2, металографічний мікроскоп МІМ-7, рентгенівська установка.	—	—	Столик	2-3 шт. від партії: HRC $\geq$ 61 Контроль твердості та номера зерна, кількість аустеніту зал.
8 8.1	Відпуск триразовий Нагрівання	СВС – 3,5.8.4/6	$t=550\pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{н}}=2,6\text{хв}$ 85%KNO ₃ + 15%NaOH		Оправки, 133шт	Контролюється температура та тривалість нагрівання, склад середовища.
8.2	Витримка	СВС – 3,5.8.4/6	$t=550\pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{в}}=1\text{год}$ 85%KNO ₃ + 15%NaOH			Контролюється температура та тривалість витримки, склад середовища.
8.3	Охолодження	Стіл		Повітря $t\leq 25^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{ох}}=1,8\text{хв}$		Контролюється температура та тривалість охолодження

Кінець таблиці 4.3

1	2	3	4	5	6	7
9.	Очищення	Гідростумін-на камера	—	—		100%
10.	Контроль поточний	ТК-2, рентгенівська установка.	—	—	—	Контроль твердості, кількості $A_{\text{зал.}}$, червоностійкості на зразках.
11. 11.1	Ціанування Нагрівання	СВС-3,5.8.4/6,5	$t_{\text{п}}=20^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{к}}=550\pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{п}}=2,6\text{хв}$ 45-50% $\text{NaCN}+ 55\text{-}50\%\text{Na}_2\text{CO}_3$		Оправки, 133шт	Контролюються температура тривалість нагрівання, робоче середовище, садка.
18.2	Витримка	СВС-3,5.8.4/6,5	$t_{\text{в}}=550\pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{в}}=25\text{хв}$ 45-50% $\text{NaCN}+ 55\text{-}50\%\text{Na}_2\text{CO}_3$			Контролюються температурат тривалість витримки, робоче середовище, садка.
18.3	Охолодження	Стіл		$t_{\text{п}}=550\pm 10^{\circ}\text{C}$ $t_{\text{к}}=20^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{ох}}=1,8\text{хв}$ повітря		Контролюється температура, тривалість охолодження та садка.
19.	Промивання	Мийна машина	$t=70\text{-}90^{\circ}\text{C}$	—	Корзина, оправки	10% содовий розчин
20.	Контроль	Мікроскоп, твердомір та ін..	—	—	—	Контролюється мікроструктура, твердість, глибина шару.

5 ТЕХНІЧНИЙ КОНТРОЛЬ, ПОПЕРЕДЖЕННЯ ТА ВИПРАВЛЕННЯ БРАКУ

Висока якість продукції забезпечується правильно проведеним вхідним, міжопераційним та завершальним контролем.

Вхідний контроль охоплює перевірку матеріалів, що використовується для виготовлення інструмента, та хімікатів, що призначені для їх термічної обробки. Ретельне виконання вхідного контролю унеможливорює появу неякісної продукції на виробництві; вхідним контролем визначається хімічний склад матеріалу виробів і його відповідність робочому кресленню, а також відсутність внутрішніх та зовнішніх дефектів форми та розмірів.

Межопераційний контроль технологічних процесів термічної обробки полягає в: перевірці готовності термічного обладнання і оснащення до виконання технології термічної обробки; вимірювання, регулювання і запис робочих температур автоматичними терморегуляторами у печах і ваннах з заданою точністю; точне виконання витримок при виконанні операції нагріву й охолодження інструменту; періодичне контролювання хімічного складу контролюємих атмосфер, а також соляних і лугових складових ван; забезпечення своєчасної очистки й розкислення соляних нагрівальних ван, а також регулярне коректування вмісту ван охолодження; попередній контроль окремих параметрів інструменту.

Поточний: контролюються усі параметри операцій: температура, час, схема садки та витрати, тиск, середовище при охолодженні його температура, структура та властивості виробів після виконання операцій.

Вихідний: є обов'язковою операцією, тому що після термічної обробки здійснюється механічне оброблення, складальна операція, це означає, що вироби повинні передаватись із необхідними структурами та властивостями.

Основними видами контролю якості інструмента після термічної обробки є: 1) візуальний контроль для виявлення тріщин, оплавлення різальної кромки інструмента та інших поверхневих дефектів(100%);

2) визначення твердості інструмента; 3) контроль мікроструктури на якість відпуску в кількості 2-3% від садки; 4) перевірка деформації(100%) інструменту[6].

В таблиці 5.1. представлені основні види дефектів фрези відрізної зі сталі Р6М5, що можуть виникнути в результаті термічної обробки.

Таблиця 5.1 – Дефекти, що можуть виникнути при термічній обробці дискової відрізної фрези їх види, причини появи, заходи по запобіганню та усуненню [11]

№	Вид дефекту	Причина появи	Заходи по запобіганню	Заходи по усуненню
1	2	3	4	5
Відпал ізотермічний				
1	Крупнозернистість (перегрів)	1. Нагрів до температур вище оптимальних; 2. Тривала витримка;	1.,2. Дотримання температури та часу обробки.	1.,2. Повторний відпал.
2	Завищена твердість	1. Завищена швидкість охолодження при ізотермічному відпалі; 2. Занижена температура ізотермічної витримки при ізотермічному відпалі; 3. Занижений час при ізотермічному відпалі.	1. Дотримуватися оптимальних швидкостей охолодження; 2. Дотримання оптимальної температури; 3. Дотримання оптимального часу;	1.,2.,3. Повторний відпал за оптимальним режимом.
3	Занижена твердість	1. Зневуглицювання; 2. Завищена температура ізотермічної витримки при перетворенні аустеніту на ферито-карбідну суміш;	1. Нагрів в захисній атмосфері; 2. Заниження температури ізотермічного перетворення;	1. Дефект не виправний; 2. Проведення відпалу за раціональним режимом;

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5
4	Знеуглецювання	1.Нагрівання проводиться не в захисній атмосфері.	1.Нагрів в захисній атмосфері, дотримання температури і швидкості охолодження.	1.Дефект невиправний.
Гартування				
1	Тріщина	1.1.Неметалеві включення та інші концентратори напружень; 1.2.завищена швидкість охолодження при гартуванні; 1.3.завищена швидкість нагрівання; 1.4.завищені температура гартування.	1.1.Проведення термічної обробки матеріалів виробів із грубими неметалевими включеннями; 1.2.використання оптимального гартівного середовища; 1.3.сходинкове нагрівання із регламентованою швидкістю; 1.4.дотримання оптимальної температури гарту, сходинкове охолодження.	Дефект невиправний.

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5
2	Занижена твердість	1.Занижена температура гарту; 2.Занижений час витримки при раціональних температурах; 3.Велика кількість аустеніту залишкового; 4.Знеуглецювання; 5.Охолодження зі швидкістю менше критичної.	1.,2.,3. Термічна обробка із дотриманням раціональної температури та часу; 2. проведення гартування в розплаві солей; захисному середовищі; вакуумі; 3.проведення охолодження у відповідному середовищі зі швидкістю вище критичної.	1.,2. Відпал та гарт за раціональним режимом; 3.Обробка холодом; 4.Дефект невинуватий; 5.Відпал та повторний гарт в раціональному середовищі.
3	Крупне зерно	1.Перегрів (завищена температура гарту та час гарту).	1.Дотримання заданих температур і часу.	1.Відпал або високотемпературний відпуск і повторний гарт.
4	Короблення	1.Нераціональне розташування виробів в садці;	1.дотримання схеми садки при її формуванні	1.рихтування;
		2.охолодження із підвищеною швидкістю;	2.гарт у відповідному середовищі;	2.рихтування
Відпуск				
1	Понижена твердість	1.Невідповідні температури та тривалість відпуску. 2. велика кількість Азал.	1. Дотримання технології. 2. Дотримання технології	1.Повторне ТО 2. а) обробка холодом; б) додатковий відпуск.

Кінець таблиці 5.1

1	2	3	4	5
2	Знижена теплостійкість	1.Недостатнє насичення твердого розчину вуглецем та легувальними елементами.	1.Підвищена температура гарту та збільшення часу витримки.	1.Повторне термічне оброблення при підвищених температурах та часу витримки.
3	Підвищена кількість аустеніту залишкового	1.Низька температура відпуску; 2.Зменшення витримки при відпуску або кількості відпусків; 3.Не повне охолодження між відпусками.	1.Підвищення температури відпуску; 2.Зменшення часу витримки; 3.Охолодження до кімнатної температури.	1.,2.,3. Точне зберігання кількості відпусків, технології, охолодження.
Ціанування				
1	Знижена, нерівномірна твердість	1.Знижена рідкотекучість ванни та налипання солей на поверхні.	1. Контроль рідкотекучості ванни.	1. Невиправний.
2	Знижена глибина та твердість шару	1.Виснаження ванни 2.Недостатня тривалість витримки.	1.,2.Систематичний контроль складу ванни та дотримання технології.	1., 2. Невиправний.
3	Крихкість	1.Довготривала витримка 2.Використання концентрованих ванн.	1.,2.Систематичний контроль складу ванни та дотримання технології.	1., 2. Нагрівання у селітряній ванні при температурі 550...650°C та витримкою протягом 30хв.

Кінцевий контроль термічного оброблення виробу. Якість інструмента повинна бути забезпечена суворим дотриманням і контролем (переважно

автоматизованим) всіх технологічних параметрів при гартуванні й відпусканні (операційний контроль).

Остаточний контроль якості інструментів повинен передбачати вибірку або суцільну перевірку всіх параметрів, передбачених кресленнями інструмента й технічних умов на термічну обробку, включаючи візуальну перевірку зовнішніх дефектів і якості очищення поверхні інструментів, визначення деформації (биття або кривизни). Крім того, перевіряють твердість, а також відсутність тріщин. Вибірково (2-3% деталей від партії) перевіряють мікроструктуру після відпуску [1].

На інструментах або контрольних зразках зі швидкорізальної сталі перевіряють теплостійкість шляхом вимірювання твердості після відпуску при 620-640°C (4 год.) або при 650°C (20 хв.). При цьому для сталей нормальної продуктивності твердість не повинна бути нижче HRC 58, для сталей підвищеної продуктивності не нижче HRC 59-60.

Для виробів шириною понад 1 мм твердість складає 62–66 HRC.

Слід звернути увагу, що твердість вимірюється на торцях інструменту на дистанції до 5 мм від його робочих кромek. Оскільки фрези випускаються із сплавів із великим вмістом кобальту та ванадію (5 і 3 % відповідно), показники їх твердості слід збільшити на кілька одиниць.

Торцеве биття фрез має допуск від 0,04 до 0,4 мм, радіальне – 0,05–0,1 мм (для суміжних зубців) та 0,08–0,16 (для зубців, розташованих у протилежних напрямках). Ці допуски заміряються щодо їх відповідності ГОСТу у вигляді спеціальної оправки.

Період стійкості відрізного інструменту вимірюється за хвилини. Він повинен відповідати таким вимогам:

140 хв (фрези перетином понад 160 мм).

Затуплення відрізних фрез визначається за особливим критерієм. Під ним розуміють зношення (допустиме), яке становить 0,4 мм для інструменту перерізом понад 63 мм.

Правила випробувань та зберігання фрез [4]

Перевірка дискових фрез (ДВФ) на стійкість і працездатність здійснюється на зразках, виготовлених зі сталі 45, на швидкості різання від 20 до 100 м/хв. Випробування виконуються з використанням проставочних кілець та спецоправки на фрезерних верстатах. Довжина (загальна) фрезерування кожного інструменту, що перевіряється по металу, при цьому становить 25–50 см.

Перевірочну фрезерну обробку виробляють з обов'язковою подачею рідини, що охолоджує. Для нього стандарт вимагає використовувати водний розчин емульсолу (вміст за масою – 5 %).

Після завершення випробувань на різальних частинах ДВФ повинні бути відсутні явища викришування. Якщо фреза після перевірочного фрезерування готова до подальшого застосування, вона вважається такою, що пройшла перевірку на працездатність.

Зовнішній вигляд виробів аналізується за стандартом візуально. Огляд здійснюється за допомогою лупи із чотирикратним збільшенням. Твердість ДВФ перевіряють за стандартом 9013, шорсткість – за ГОСТ 9378.

Важливий момент. При аналізі характеристик відрізних фрез металу допускається застосовувати засоби вимірювання з наступними максимальними похибками:

35% величини допуску при вимірі кутів;

25 % при аналізі розташування поверхонь та контролі форм інструменту[4].

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

Розглянута у роботі відрізна фреза зі сталі Р6М5 для роботи встановлюється на фрезерних верстатах, тому доцільним є розгляд особливостей безпечної роботи на них та можливі фактори ураження людини.

При роботі на фрезерних верстатах небезпечними чинниками є ріжучий інструмент (фреза), оброблювана деталь, пристосування для їх закріплення, а також стружка.

У випадках порушення правил експлуатації верстатів, перевищення режимів різання, а також за відсутності огорожувальних пристроїв можливі поранення верстатників фрезами. Найбільшу небезпеку для фрезерувальників представляють неогорожені дискові та торцеві фрези зі вставними ножами, використовувані при фрезеруванні на горизонтально- і вертикально-фрезерних верстатах, оскільки може відбутися виліт вставних ножів.

Нещасні випадки можуть статися при закріпленні деталі або знятті її з верстата, коли руки працівника знаходяться поблизу неогороженої фрези. Неправильно підібрані або несправні пристосування для закріплення заготовок також становлять небезпеку для верстатників. Через недостатньо надійне закріплення можливий вирив заготовки і травмування працюючих.

Велику небезпеку для верстатників і оточуючих представляє відлітаюча стружка. Вона розлітається на значні відстані від верстата, має високу температуру (400-600 °C) і велику кінетичну енергію, тому може бути причиною травмування очей і опіків шкіри.

Основний потік стружки, що утворюється при фрезеруванні дисковими і торцевими фрезами, у багатьох випадках можна направити від робочого місця верстатника шляхом відповідного поєднання напрямки обертання

фрези і подачі. Спрямований потік стружки можна вловлювати також за допомогою найпростіших стружкозбірників.

При фрезеруванні бронзи, латуні, чавуну та інших крихких металів і сплавів відбувається утворення пилових частинок металу і забруднення ними повітряного середовища. Особливо велика запиленість повітря пилом розміром до 10 мкм спостерігається при фрезеруванні сірого чавуну, неметалічних матеріалів, таких як текстоліт, склотекстоліт, графіт, деревні пластики. При фрезеруванні свинцевих бронз і латуней кількість металевого пилу в зоні дихання верстатника відносно невелика, проте вміст свинцю в пилові значно перевищує норму.

Пил оброблюваних матеріалів представляє серйозну небезпеку для здоров'я працюючих. Проникаючи в органи дихання та очі, забруднюючи поверхню шкіри, пил часто є причиною важких захворювань.

Для того щоб виключити можливість травмування верстатників фрезами під час обертання, необхідно застосовувати захисні екрани і щитки.

Знепилення повітря робочої зони при фрезеруванні крихких металів і неметалічних матеріалів є особливо важливим. При обробці заготовок циліндричними і дисковими фрезами на універсально- і горизонтально-фрезерних верстатах широке застосування отримали пилостружкоприймачі. У їх конструкціях враховані умови формоутворення і напрямок руху потоку пилових частинок і стружки при різних видах фрезерування, а також вимоги діючих норм безпеки і правил огороження фрез.

Для досягнення високої ефективності видалення стружки і пилу при фрезеруванні необхідно створити повітряний потік, швидкість якого значно (не менше 2-х разів) перевищує швидкість відлітаючої стружки. Конструкція пилостружкоприймача дозволяє також виключити травмування працівників у разі вильоту вставних ножів торцевих фрез, або руйнування дискової фрези, захистити від випадкового потрапляння рук у небезпечну зону.

Багатоопераційні верстати (оброблювальні центри) з числовим програмним управлінням, оснащені інструментальним механізмом з автоматичною зміною інструменту, повинні мати захисні пристрої, які захищають від можливого травмування працюючих інструментом, що знаходиться в магазині (або револьверній головці), при його повороті. Механізм переносу інструмента з магазину в шпindel і назад повинен забезпечувати надійне захоплення інструменту, виключати його випадання при перенесенні[12].

При роботі з печами може виникнути можливість ураження електричним струмом, внаслідок порушення правил з електричної безпеки, що може привести до електричних травм, або летального наслідку тому дуже важливим є знання основних заходів для попередження уражень електричним струмом.

Також, можуть виникнути небезпеки, які пов'язані з процесом термообробки, зокрема термічні опіки внаслідок відсутності або не використання індивідуальних засобів захисту. При роботі з муфельними печами працівник повинен мати: халат бавовняний, берет бавовняний, фартух брезентовий з нагрудником з вогнезахисним просоченням, туфлі шкіряні на гумовій підшві, рукавиці брезентові із вогнезахисним просоченням, окуляри захисні закриті.

У випадку незадовільних параметрів повітряного середовища в приміщенні цеху, внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітря обміну, тому дуже важливим є утримання цих систем у належному стані.

Для створення зручних умов роботи необхідним є створення задовільного освітлення робочих зон. З метою організації нормованого освітлення виробничого приміщення доцільним є використовувати систему загального штучного освітлення, що поєднане із природним освітленням.

При роботі з високотемпературними печами є можливість загоряння внаслідок порушень правил пожежної безпеки, що може привести до пожежі. Для попередження пожеж передбачається використовувати первинні засоби

пожежогасіння. Також необхідно періодично проводити протипожежні інструктажі, навчання та тренування персоналу [13].

Термообробка в ціаністих ваннах [13]. Роботи, пов'язані з одержанням і доставкою ціаністих солей на центральний склад або в термічний цех, необхідно здійснювати з оформленням наряду-допуску на виконання робіт з підвищеною небезпекою. Працівники, що стикаються з ціаністими солями (при розкритті тари і розважуванні, завантаженні ванн, прибиранні і знешкодженні відходів, тари, ремонті устаткування та ін.), повинні бути навчені безпечним методам роботи. На ділянках ціанування повинні бути вивішені на видних місцях інструкції з охорони праці і надання допомоги з появою перших ознак отруєння.

Робота повинна здійснюватися із застосуванням засобів захисту - гумових рукавичок, протигазів. Розкриття тари з ціаністою сіллю повинно здійснюватися безударним інструментом у витяжній шафі з дверцятами.

Випадково розсипана на підлогу ціаніста сіль повинна бути ретельно зібрана і прибрана в спеціальну металеву тару для відходів, а ділянка підлоги знешкоджена.

Приміщення ціанування і збереження ціаністих солей повинні бути обладнані самостійними витяжними вентиляційними установками з пусковими пристроями, що розміщені зовні приміщення. Перед пуском печі-ванни необхідно перевірити справність вентиляції.

Вентиляційні установки повинні бути обладнані контрольними приладами, які автоматично сигналізують про зниження їх продуктивності. У разі несправності вентиляції піч повинна бути негайно відключена. Щоб уникнути утворення ціаністого водню, на ділянці ціанування та поблизу її забороняється зберігати і застосовувати кислоти та їх розчини.

Завантаження ціаністих солей у печі-ванни повинно здійснюватися невеликими порціями з обов'язковим використанням засобів захисту - протигазу і гумових рукавиць. Тигель не повинен завантажуватися більше ніж на 3/4 ємності, щоб уникнути розплескування солі через край.

Печі-ванни, призначені для роботи з розплавленими ціаністими солями, повинні бути теплоізовані, обладнані захисними кожухами з дверцятами для запобігання виходу в робочу зону парів і пилу, а також для запобігання персоналу від опіків розплавленою сіллю. У дверцятах можуть бути передбачені засклені вікна для візуального спостереження за ходом технологічного процесу. Дверцята повинні відкриватися тільки на час завантаження і вивантаження деталей, добавки солей, чищення ванн та ін.

6.16. Після закінчення процесу ціанування система витяжної вентиляції повинна працювати після відключення ціаністих печей-ванн до повного їхнього остигання.

При завантаженні і вивантаженні деталей слід стояти збоку від ванни. Не дозволяється заглядати у відкритий проріз кожуха печі і гартівного бака. Щоб уникнути випліскування ціаністих солей при розплавлюванні, нагрівання ванни слід вести повільно, а тигель закрити кришкою. Прогорілі тиглі необхідно негайно замінити.

Деталі, що пройшли термічну обробку в розплавлених ціаністих солях, повинні знешкоджуватися і промиватися в гарячій воді. Уміст ціаністих солей у промивній воді не повинен перевищувати 1%. Вода перед спуском у каналізацію повинна пройти нейтралізацію і знешкодження. Ванни гарячого промивання повинні бути обладнані місцевими відсмоктувачами. Охолодження деталей слід здійснювати на спеціальній ділянці, оснащений витяжною вентиляцією.

Витягання ціаністих солей з важкодоступних місць деталей, наприклад, з глибоких отворів, повинно здійснюватися тільки на ділянці ціанування під витяжкою із застосуванням спеціальних пристосувань або устаткування.

Відходи (стружка і пил після очищення деталей, піна, забруднення та опади з дна тигля, масло з гартівного бака, використаний обтиральний матеріал, земляне сміття) повинні збиратися в спеціальну металеву тару для відправлення на знешкодження.

Усі пристосування та інструмент для засипання, додання, перемішування ціаністих солей у ванні, щоб уникнути забруднення підлоги на ділянці ціанування, повинні зберігатися в спеціальних металевих ящиках або шафах, забезпечених витяжкою. Не дозволяється використовувати зазначені пристосування та інструмент для інших потреб і виносити їх за межі ділянки. Інструмент і пристосування після закінчення роботи повинні бути обов'язково знешкоджені і промиті.

Після кожної робочої зміни підлоги в приміщеннях повинні промиватися 1% розчином залізного купоросу. Сухе прибирання приміщень не допускається.

Очищення повітроводів та іншого устаткування від відкладеного на них пилу ціаністих солей повинно здійснюватися регулярно в міру їхнього забруднення з оформленням наряду-допуску на виконання робіт, пов'язаних з підвищеною небезпекою. При очищенні повітроводів необхідно користуватися протигазом (відповідно до пункту 5 розділу IX цих Правил).

Пил, зібраний з устаткування, повинен знешкоджуватися на ділянці ціанування або в іншому, спеціально відведеному місці. Знешкодження слід здійснювати розчином гіпохлориду натрію або суспензією, що складається з 10% розчинів залізного купоросу і свіже гашеного вапна або кальцинованої соди, які змішуються безпосередньо перед вживанням.

Установлювати питні фонтанчики і бачки для питної води в приміщеннях, де зберігаються і застосовуються ціаністі солі, не дозволяється. Для забезпечення особистої безпеки працівникам не дозволяється торкатися ціаністих солей руками без захисних рукавичок, занурювати руки у ванни, курити і приймати їжу на робочому місці біля печей. Приймати їжу слід у спеціально відведеному для цього місці. Перед їжею необхідно зняти спецодяг, вимити руки та обличчя з милом або 1 %-м лужним розчином залізного купоросу, прополоскати рот водою. Необхідно стежити за станом шкіри рук - не допускати порізів, саден, подряпин.

На ділянках робіт з ціаністими солями і ділянках знешкодження повинні бути встановлені аптечки, укомплектовані глюкозою, препаратом аміннітрату та іншими відповідними засобами першої допомоги за вказівкою лікаря.

У разі появи в робітника нудоти, запаморочення, порізів, опіків рук він повинен бути відсторонений від роботи до одержання відповідного дозволу лікаря. У неробочий час ділянка рідинного ціанування, склади для ціаністих солей, ділянки знешкодження ціаністих відходів, тари, спецодягу та інших предметів, забруднених ціаністими солями, повинні бути закриті на замок і опломбовані [13].

7 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

Працездатність інструменту визначається умовами обробки та оброблюваними матеріалами, а також властивостями інструментального матеріалу, які значною мірою залежать від стану структури та тонкої структури швидкорізальних сталей, що застосовуються для виготовлення різального інструменту. Широко поширені швидкорізальні сталі P18, P6M5, P6M5K5, P9K5 та інші, незважаючи на високі показники твердості та теплостійкості, не завжди здатні забезпечити необхідну продуктивність і зносостійкість, особливо при обробці матеріалів, що важко обробляються.

Тому актуальним завданням є підвищення експлуатаційних властивостей швидкорізальних сталей за рахунок зміни їх структури та розробка на цій основі різальних інструментів з підвищеною зносостійкістю та продуктивністю. Дуже важливим є вивчення проходження перетворень при гартуванні, а також вплив температури експлуатації на основні механічні властивості різального інструменту (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Залежність механічних властивостей сталі P6M5 від температури випробування (температура гарту 1220°C, температура відпуску 550°C триразовий відпуск по 1 годині, повітря)[6]

Температура випробування, °C	20	475	500	525	550	600
$\sigma_{зг}$, МПа	2600	3100	3200	3100	3000	2800
КС, Дж/см ²	13	26	30	30	35	30

Як вже зазначено в розділі 3, легувальними елементами сталі P6M5 є вольфрам, молібден, хром та ванадій, які відповідно впливають на міцність,

прогартовуваність, червоностійкість тощо, тобто експлуатаційні властивості сталі в цілому.

Переохолоджений аустеніт сталі Р6М5 має високу стійкість (рис.3.1). Аустеніт, який насичений вуглецем та легувальними елементами при високому нагріванні, стає пересиченим та може виділяти карбіди вже при великій витримці та більш низьких температур: 1000-550°C. Зниження його легованості спостерігається при зменшенні електропровідності. Крім того, карбіди, які виділяються розміщуються по межах зерен, при цьому твердість сталі зменшується. Для попередження виділенню 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[5].

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

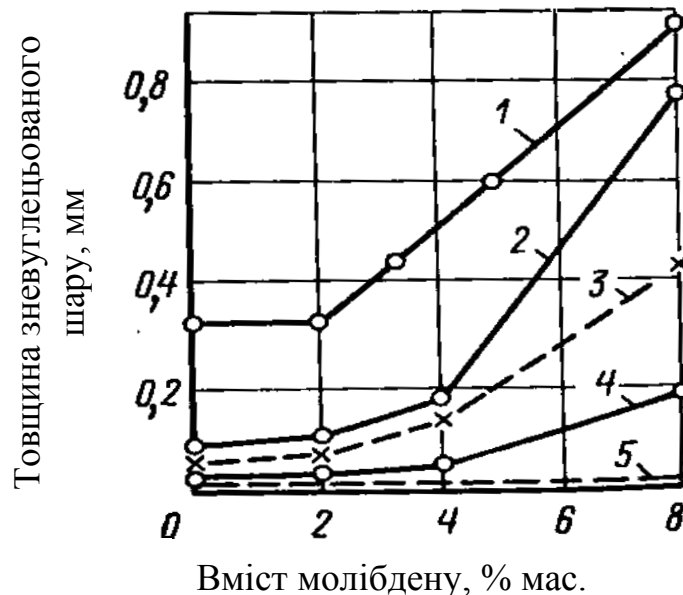
Хром впливає на процеси карбідоутворення під час відпуску. При 440...525°C хром частково виділяється з мартенситу, цим посилює дисперсійне твердіння, і частково залишається в α - розчині, стримуючи знеміцнення при більш високому нагріванні. Підвищення вторинної твердості досягається при вмісті Cr 3...4%.

У сталі Р6М5 з 5% Мо зберігаються (але в меншому ступені) недоліки, внесені вольфрамом. Вона чутлива до знеуглецювання (рис. 7.1). Також у Р6М5 менша карбідна неоднорідність порівняно із чисто вольфрамовою сталлю Р18.

Розподіл та кількість карбідів (рис.7.2) у сталях з молібденом аналогічний до вольфрамових сталей. Однак молібден у сталях з вольфрамом

майже не збільшує розмірів карбідних частинок. Через більш тонку будову евтектики вони менше, ніж у вольфрамових сталях, що мають більше 12-14% W. У відсотках (по масі) кількість їх менше в сталях з молібденом (через його меншу щільність) і становить після відпалу $\sigma_{P6M5} = 22\%$. [5]

Крім того, в сталях окремих плавов при гартуванні з температур, які прийняті як оптимальні, спостерігається більш крупне зерно та знижена міцність (рис.7.3). Таке явище має місце при вмісті вуглецю, близькому до верхньої границі для марки, оскільки вуглець знижує температуру гартування. Для підвищення стабільності властивостей треба встановлювати вміст вуглецю в цих сталях у більш вузьких межах: 0,7...0,8%.



1-в електропечі; 2- у полуменовій 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 7.1 – Вплив молібдену на знеуглецювання швидкорізальної сталі P6M5[5]

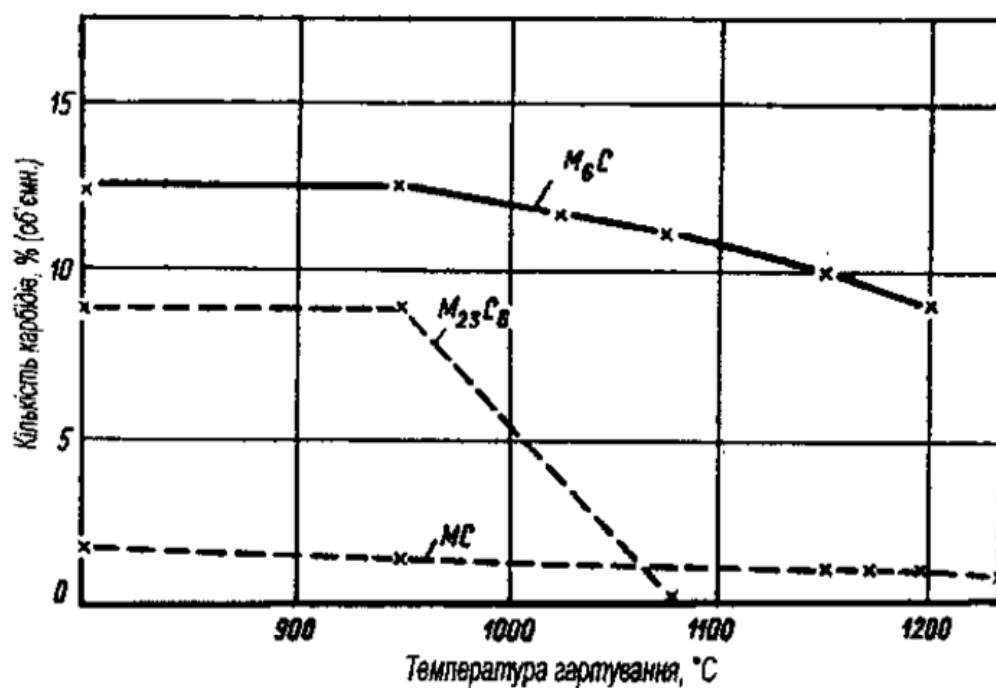


Рисунок 7.2– Кількість карбідів M_6C , MC та $M_{23}C_6$ в сталі Р6М5 в залежності від температури гартування[5]

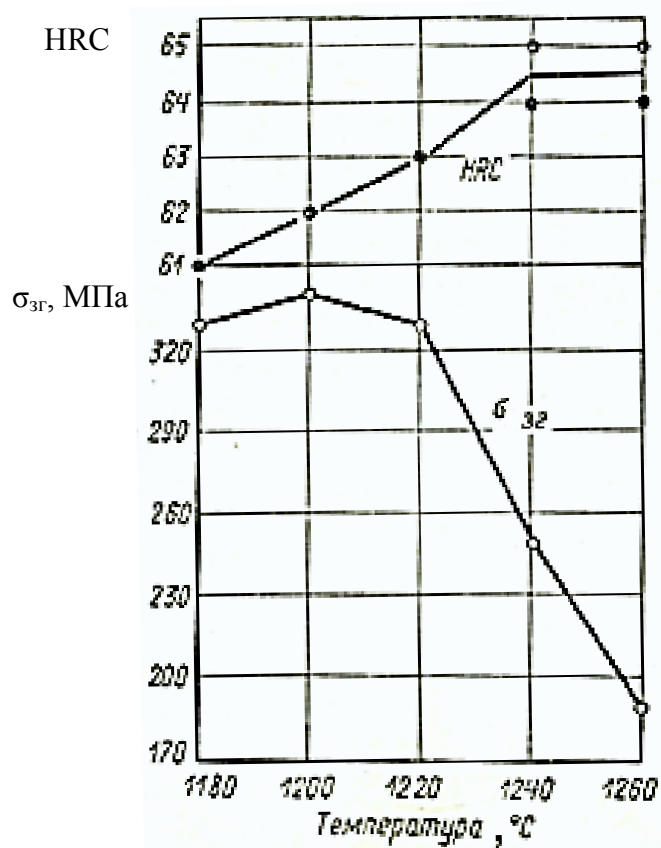


Рисунок 7.3– Твердість (HRC) та міцність сталі Р6М5 залежно від температури гартування (відпуск при $560^{\circ}C$, 3 рази) [5]

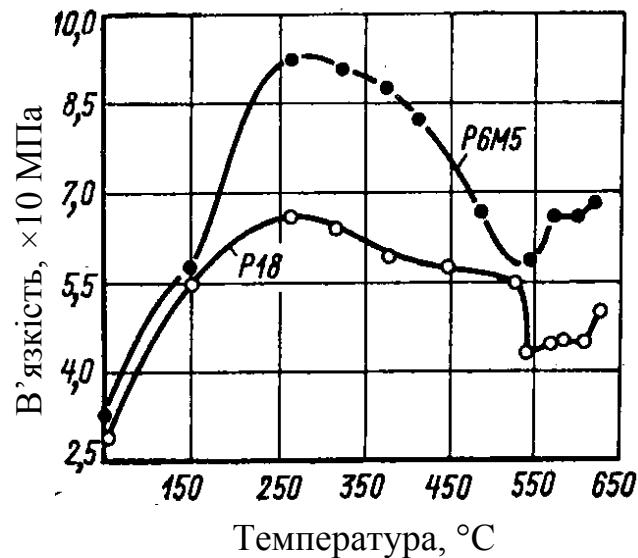


Рисунок 7.4— В'язкість сталей P18 та P6M5 в залежності від температури відпуску (гартування на дрібне зерно)[5]

Температури $\alpha \rightarrow \gamma$ -перетворення в молібденових сталях трохи нижче, ніж у вольфрамових. Молібден за впливом на теплостійкість заміщує вольфрам у співвідношенні $\text{Mo} : \text{W} = 1 : (1,4-1,5)$, 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 утвориться при 1275°C у сталі з 5% Mo й 6% W. Тому температури гартування молібденових сталей повинні бути нижче, ніж вольфрамових.

У впливі вольфраму та молібдену є також суттєві відмінності. Це спостерігається при відпусканні. В'язкість сталей з молібденом (рис. 7.4) при відпуску $250-300^\circ\text{C}$ зростає значно більше. В'язкість, яка знижується при дисперсійному твердінні, залишається у молібденових сталях вище, ніж у вольфрамових, оскільки молібден як горофільний елемент перешкоджає виділенню карбідних частинок по межах зерен [18].

Треба зазначити позитивні якості ванадію, як одного з основних легувальних елементів швидкорізальних сталей. Ванадій відноситься до групи елементів, які утворюють в сталях тверді тугоплавкі монокарбіди.

Мікротвердість карбіду VC становить близько 24000 Н μ [16], у зв'язку з цим сталі, леговані ванадієм, мають високу твердість і зносостійкість [14, 15]. Крім того, карбід VC досить добре розчиняється в аустеніті при високих температурах. Таким чином, сталі з високою концентрацією ванадію і вуглецю при відповідній термічній обробці (гартування з високих температур і відпуск при температурі $\sim 550^{\circ}\text{C}$) є вторинно твердіючими і теплостійкими [16].

Структура литих швидкорізальних сталей складається з евтектичної складової та продуктів розпаду аустеніту. Структура литої швидкорізальної сталі P6M5 представлена двома типами евтектик та продуктами розпаду аустеніту (рис. 7.5). Одна з евтектик, розташованих за межами дендритних гілок, базується на карбіді M_2C і має будову пластин, проміжки яких заповнені другою евтектичною складовою – аустенітом. Евтектика $\gamma + \text{VC}$ також розташована за межами дендритних гілок, проте вона присутня у вигляді окремих ізольованих рівноважних включень.

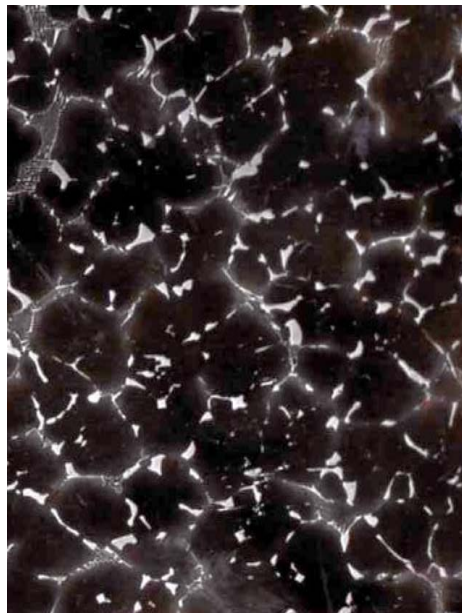


Рисунок 7.5 – Мікроструктура сталі P6M5 в литому стані, $\times 400$ [17]

Грунтуючись на аналізі літературних даних, можна стверджувати, що така структура не є оптимальною внаслідок малої кількості та відносно

великого розміру евтектичних карбідів. Зрозуміло, що обидві евтектики формуються при кристалізації карбідів та аустеніту з рідини, де вміст легуючих елементів нерівноважний через розвиток ліквідаційних процесів.

При аналізі дослідних даних автори [17] зробили висновок, що незважаючи на високий вміст легувальних елементів в стандартних швидкорізальних сталях P18, досліджуваної в цій дипломній роботі сталі P6M5, сталь P0M5Ф6 має вищі показники стійкості. Встановлено, що причиною цього є різна морфологія евтектичних карбідів ванадію.

Продуктивність інструмента в значній мірі залежить від його здатності зберігати певний час різальні властивості. Різальні властивості погіршуються не тільки під впливом високої температури, яка сприяє зниженню твердості інструмента, але і таких, як адгезія, дифузія, абразивно-механічне зношування різальної кромки і поверхонь інструменту. Так, інструментальні матеріали, які призначені для обробки різанням, повинні мати високу твердість (HRC 60...65), високу зносостійкість, теплостійкість і механічну міцність.

У існуючих швидкорізальних сталях, як чисто вольфрамових, так і вольфрам-молібденових, присутні два значних недоліки: карбідна неоднорідність та висока температура гартування (1220...1260°C). Застосовують вже існуючі методи усунення карбідної неоднорідності, але досягти цього в повній мірі не вдається. Це, в свою чергу, створює анізотропію та зниження механічних властивостей.

Одним із напрямків підвищення однорідності є також виготовлення швидкорізальних сталей методом порошкової металургії. Такі сталі краще шліфуються, мають більш високу технологічну пластичність і механічні властивості. Вторинна твердість і теплостійкість створюється на рівні литих сталей, зменшується час розчинення карбідів при гартуванні і підвищується загальна стійкість.

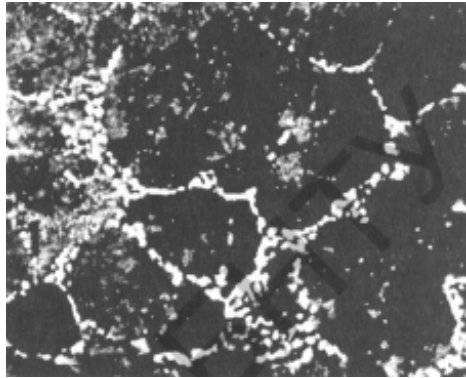
Перспективним є виробництво різального інструменту із сталей з меншою кількістю вуглецю, легованих по типу швидкорізальних. Необхідна

кількість вуглецю у робочих частинах інструменту потім досягається за допомогою цементації на стадії термічної обробки. При цьому усувається відомий недолік швидкорізальних сталей – карбідна неоднорідність. Такі сталі кристалізуються без утворення евтектики, а карбідна складова формується при науглецюванні у твердому стані. При цементації формуються глобулярні, розташовані у матриці карбіди, що забезпечить після остаточної термічної обробки високий рівень механічних властивостей, а також теплостійкість. Стійкість у порівнянні з стандартною Р6М5 підвищується на 20-25 %. В зв'язку з тим, що ці сталі мають достатню пластичність і легко оброблюються як у гарячому так і холодному стані, то полегшується їх виробництво на металургійних заводах, ковка замінюється прокатуванням, що є більш економним процесом [17].

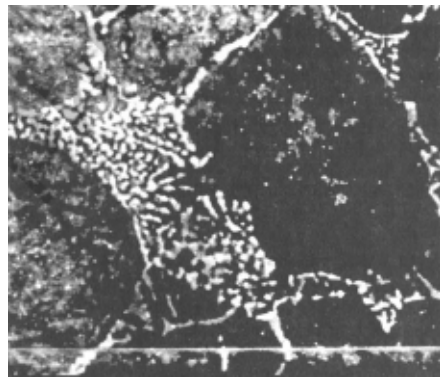
З метою покращення структури та властивостей сталі Р6М5 можна використовувати модифікування. Подрібнення зерен металічної основи внаслідок дії модифікаторів та обумовлене цим збільшення довжини їх меж в деякій мірі сприяють утворенню евтектичних колоній менших розмірів і більш рівномірному розподілу евтектики порівняно з базовою сталлю. Поверхнево-активні елементи надають пряму модифікувальну дію на евтектику – карбіди, які ростуть в евтектичній рідині, піддаються бар'єрному ефекту з їх сторони, що стримує зростання та викликає позитивні зміни морфології карбідної фази при евтектичній кристалізації. Внаслідок цього, евтектика модифікованої сталі (рис. 7.6, а) відрізняється від базової (рис. 7.6, б) більш тонкою будовою та її колонії утворені дуже дрібнодисперсними карбідними частинками, що мають сприятливу сферичну форму в перерізі.

Особливості первинної структури разом з рафінувальним ефектом зберігаються після повної термічної обробки та визначають абсолютний рівень механічних характеристик литих модифікованих швидкорізальних сталей. Найкраще поєднання модифікувального та рафінувального ефектів забезпечують добавки Sb, Ca, Sr, Bi, Ti, Nb, які сприяють найсуттєвішому

збільшенню ударної в'язкості – до $0,14 - 0,20 \text{ МДж/м}^2$, порівняно з $0,10 - 0,11 \text{ МДж/м}^2$ у базових сталей. Слід зазначити, що особливого впливу у підвищенні ударної в'язкості завдає зміна під їх впливом складу евтектичних карбідів, які є осередками зародження тріщин в швидкорізальних сталях.



а)



б)

а – після модифікування, $\times 1800 (\times 0,5)$, б – вихідний склад, $\times 1700 (\times 0,5)$

Рисунок 7.6 – Структура литої швидкорізальної сталі[19].

ВИСНОВКИ

Було розглянуто конструкцію та види відрізних фрез, а також умови їх роботи. З'ясовано, що фреза в процесі експлуатації знаходяться в складно напруженому стані, піддаючись динамічним згинальним і обертальним навантаженням, зношенню, розігріву внаслідок виділення тепла при терті по оброблюваному матеріалі. Тому, матеріал для виготовлення відрізної фрези повинен бути зносостійким, а також мати високі показники червоностійкості, твердість на рівні 63-65HRC, працювати при підвищених температурах. Цим вимогам відповідає клас швидкорізальних сталей, а саме сталь Р6М5. Розроблено маршрутну технологію виготовлення інструменту.

Розглянуто призначення легувальних елементів сталі. До основних елементів, які підвищують показники червоностійкості, твердості, міцності тощо, належать вольфрам, молібден, ванадій та хром.

Визначено, що оптимальним режимом термічної обробки є ізотермічний відпал при $(850 \pm 10)^\circ\text{C}$ та ступінчасте гартування $(1220 \pm 10)^\circ\text{C}$ з охолодженням в маслі, а також відпускання при $(550 \pm 10)^\circ\text{C}$, на повітрі. Для підвищення ресурсу роботи інструменту проводять низькотемпературне ціанування різальної частини при температурі $(550 \pm 10)^\circ\text{C}$. Для проведення операцій термічної обробки було обрано відповідне обладнання, а саме камерну газову піч та печі-ванни. Розглянуто можливі дефекти термічної обробки та способи їх запобігання і усунення.

Також, дуже важливим є дотримання норм техніки безпеки при роботі з відрізними фрезами та при їх виготовленні – термічній обробці. Тому було висвітлено правила з техніки безпеки.

У існуючих швидкорізальних сталях, як чисто вольфрамових, так і вольфрам-молібденових, присутні недоліки у вигляді карбідної неоднорідності та високої температури гартування. Це, в свою чергу,

створює анізотропію та зниження механічних властивостей. Одним із напрямків підвищення однорідності є також виготовлення швидкорізальних сталей методом порошкової металургії. Такі сталі краще шліфуються, мають більш високу технологічну пластичність і механічні властивості. Вторинна твердість і теплостійкість створюється на рівні литих сталей, зменшується час розчинення карбідів при гартуванні і підвищується загальна стійкість.

Встановлено, що при проведенні модифікування сталі Р6М5 відбувається подрібнення зеренної структури, а також більш рівномірне розташування евтектичних колоній. Це відбувається внаслідок утворення дрібнодисперсних первинних глобулярних карбідів, які є центрами утворення евтектичних колоній.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ГОСТ 2679-2014 (ISO 2296:2011). Фрезы прорезные та відрезні. – [Чинний від 2014-01-01]. – Київ, 2014. – 20 с.
2. Балицька Н.О. Огляд конструкцій відрезних фрез та перспективні шляхи їх удосконалення/ Н.О. Балицька // Процеси механічної обробки в машинобудуванні. – Житомир, 5, 2017. – С. 179-197.
3. Mohapatra Sh. Performance analysis of centrifugal-cast single-point cutting-tools developed from scrapped tools / Sh. Mohapatra, Hr. Sarangi, Up. Kumar Mohanty// Materials and Manufacturing Processes. – 37, 2022. – pp. 305-317. DOI:10.1080/10426914.2021.1944195.
4. Родін П.Р. Основи проектування різальних інструментів /П.Р. Родін. – Київ : Вища школа, 1990. – 424 с.
5. Мойсеєнко О.И. Инструментальные материалы /О.И.Мойсеєнко, О.И.Чкалова– Киев:Вища школа, 1983. – 192 с.
6. A 600 – 92a. Tool Steel High Speed. – Effective from 2004-01-01. – Official edition. – [S. l. : s. n.], 2004. – 7 p. DOI: 10.1520/A0600-92AR16
7. AISI M2 | AISI M2 High Speed Tool Steel | AISI M2 Tool Steel Grade [Electronic resource] // VIRAT SPECIAL STEELS (P) LIMITED. – Mode of access: <https://www.viratsteels.com/aisi-m2.html> (date of access: 01.06.2023).
8. Будник А.Ф. Типове обладнання термічних цехів та дільниць: Навчальний посібник. / А.Ф. Будник – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. – 212 с.
9. Сігова В.І. Технологія і проектне рішення термічних цехів і дільниць: навч. посіб. /В.І. Сігова, В.Б. Юскаєв, А.Ф. Будник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – 318 с.
10. Лазечний І.М. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної бакалаврської дипломної роботи для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство» / І.М. Лазечний, О.В. Климов, О.А. Глотка,

Ю.І. Кононенко, О.В. Лисиця ; Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022. – 57 с.

11. Supura S. Defects in the Heat Treatment of Steel. Metals. Industries. Metallurgy [Electronic resource] // Engineering Notes. – Mode of access: <https://www.engineeringenotes.com/metallurgy/heat-treatment/defects-in-the-heat-treatment-of-steel-metals-industries-metallurgy/20834>(date of access: 02.06.2023). — Title from screen.

12. Фрезерні верстати: охорона праці. Охорона праці[Електронний ресурс]. –Режим доступу:<http://op.rv.ua/article/frezerni-verstaty-ohorona-praci> (дата звернення: 29.05.2023р.). – Назва з екрана.

13. НПАОП 28.5-1.02-07. Правила охорони праці при термічній обробці металів. – Чинний від 2008-02-09. – Вид. офіц. – Київ : [б. в.], 2008. – 121 с.

14. ShizhongWei. Research on wear resistance of high-speed steel with high vanadium content / Wei Shizhong, Zhu Jinhua, Xu Leujue //Materials Science and Engineering. – 2005. –P.138-145.DOI:10.1016/j.msea.2005.05.062

15. Euh K. Correlation of microstructure with hardness and wear resistanceof VC/steel surface-alloyed materials fabricated by high-energy electron-beamirradiation / K.Euh, S. Lee.// Metall Mater Trans A. – 2003. – Vol.34. –P. 59-69.DOI:10.1007/s11661-003-0208-8.

16. Shizhong Wei. Effects of vanadium and carbon onmicrostructures and abrasive wear resistance of high-speed steel /Wei Shizhong, Zhu Jinhua, Xu Leujue // TribologyInternational. –2006. – Vol.9. –P. 641-648. DOI:10.1016/j.triboint.2005.04.035

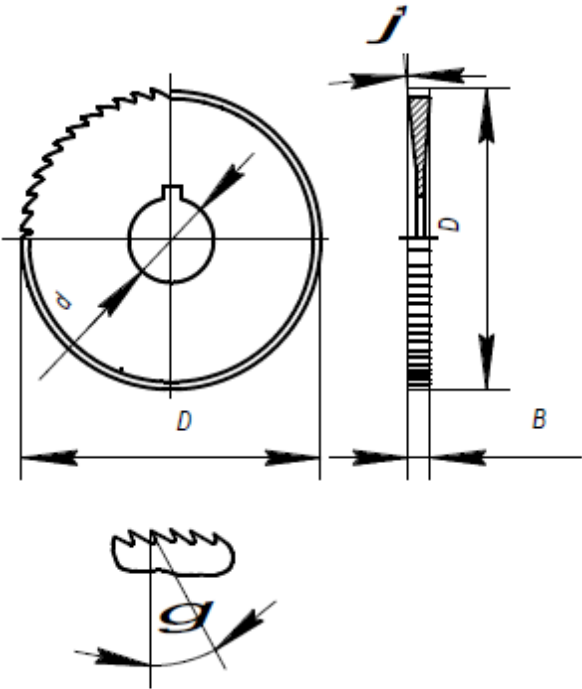
17.Мовчан О.В. Вплив морфології евтектичної складової в швидкорізальній сталі на її зносостійкість /О.В.Мовчан, К.О. Чорноіваненко // Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід: матеріали V Міжнародної конф.,[Дніпро], 29 лист. 2022р. / Інститут промислових та бізнес-технологій УДУНТ. – Дніпро, 2022. – С. 188-191.

Деякі принципи раціонального легування і термічної обробки швидкоріжучих сталей / А.В. Галико // Наукові записки КНТУ. – 2011. – 11 (І). – С. 88-89.

19. Fu H. A Study of Modification of M2 Cast High Speed Steel / H. Fu, J. Xing // Mat.-wiss. u. Werkstofftech. – 2004. – 35, №9. – P. 578-581. Mode of access: DOI: 10.1002/mawe.200300697.

ДОДАТОК А

ДИСКОВА ВІДРІЗНА ФРЕЗА ТА МАТЕРІАЛ ДЛЯ ЇЇ ВИГОТОВЛЕННЯ



Таблиця А1 – Перелік різального інструменту,
що оброблюється в термічному відділенні інструментального цеху

Назва виробу	Матеріал виробу	Маса виробу, кг	Розміри виробу, мм			Вимоги до матеріалу
			D	d	B	
Фреза відрізна	P6M5	0,5	200	32	2	Теплостійкість 620°C, 62-65HRC,
Фреза відрізна	P6M5	0,78	160	32	5	
Фреза відрізна	P6M5	1,6	250	32	4	

Таблиця А2 – Хімічний склад сталі P6M5 (аналог AISIM2) (ASTM A600-92a(2016))

Матеріал	Масова частка елементів, %									
	C	W	Cr	V	Mo	Mn	Si	Ni	S	P
	не більше									
P6M5	0,85-0,95	5,5-6,5	3,0-3,6	2,0-2,5	5,0	0,4	0,5	0,4	0,03	0,03

Рисунок А1 – Ескіз відрізної фрези

ДОДАТОК Б

ГРАФІК ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ДИСКОВОЇ ВІДРІЗНОЇ ФРЕЗИ, ВИГОТОВЛЕНОЇ ЗІ СТАЛІ Р6М5

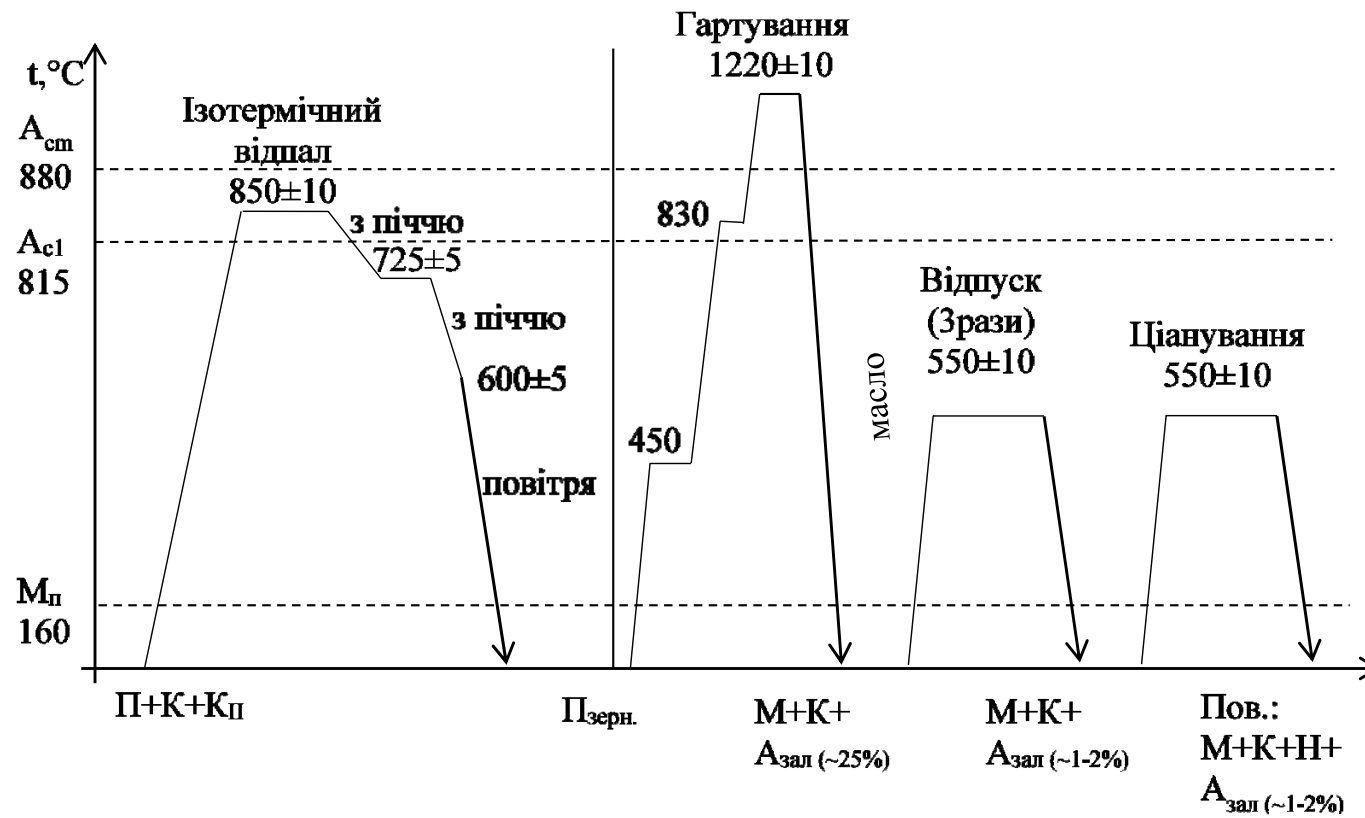


Рисунок Б1 – Графік термічної обробки фрези відрізної зі сталі Р6М5



Рисунок Б2 – Мікроструктура сталі Р6М5 після оптимального режиму термічної обробки

ДОДАТОК В

ВИБІР ТЕМПЕРАТУРИ ГАРТУВАННЯ СТАЛІ Р6М5

Таблиця В1 – Залежність твердості та кількість аустеніту залишкового від температури гарту в сталі Р6М5

t, °C	Твердість HRC	Кількість аустеніту залишкового, %
1210	65	29
1220	64,5	31,5
1230	64	34
1260	63	-
1270	61	-

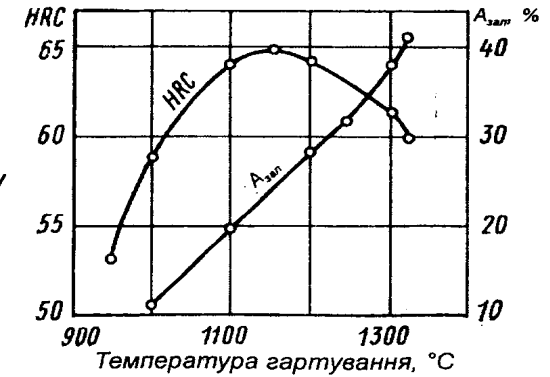
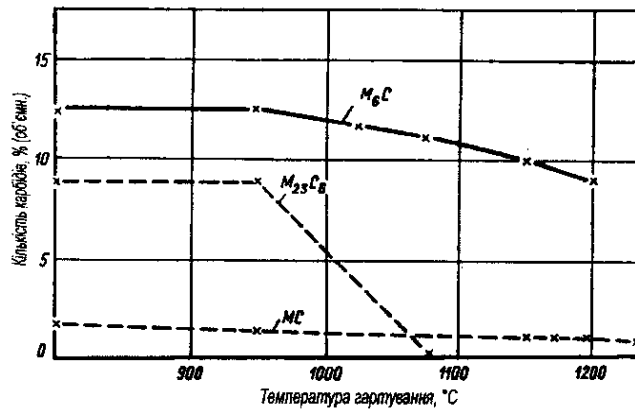


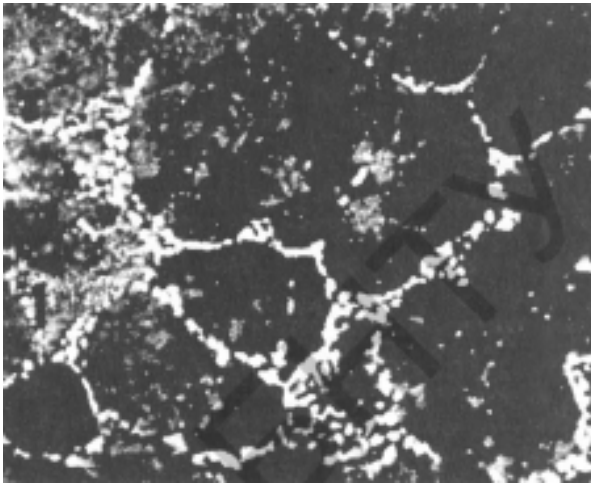
Рисунок В3 – Твердість та кількість залишкового аустеніту в швидкорізальній сталі Р6М5 в залежності від температури гартування

Рисунок В2 – Твердість (HRC) та міцність сталі Р6М5 залежно від температури гартування (відпуск при 560°C, 3 рази)

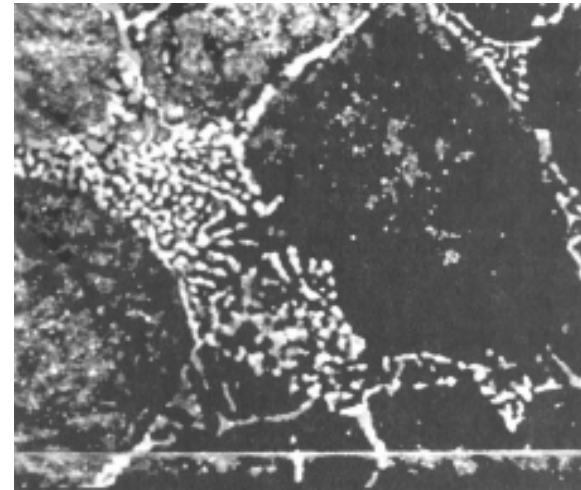
Рисунок В1 – Кількість карбідів M_6C , MC та $M_{23}C_6$ в сталі Р6М5 в залежності від температури гартування



ДОДАТОК Г
ВПЛИВ МОДИФІКУВАННЯ НА БУДОВУ ЕВТЕКТИКИ СТАЛІ Р6М5



а)



б)

а – після модифікування, $\times 1800$ ($\times 0,5$), б – вихідний склад, $\times 1700$ ($\times 0,5$)

Рисунок Г1 – Структура литої швидкорізальної сталі