

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

Кафедра «Прикладне матеріалознавство та технології конструкційних матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О.П. Гапонова

«__» _____ 2022 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

Тема: «Дослідження впливу поверхневої модифікації на структуру та властивості різального інструменту зі швидкорізальної сталі»

Студент МТ.м-11	_____	Підпригора В. В.
Керівник	_____	Гапонова О.П.
Консультант з економічної частини	_____	Берладір Х.В.
Консультант з охорони праці	_____	Говорун Т.П.
Нормоконтроль	_____	Дегула А. І.

Суми
2022

Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра «Прикладне матеріалознавство та технології конструкційних матеріалів»
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ О.П. Гапонова
«__» _____ 2022 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Підопригорі Владиславу Вікторовичу

1. Тема проекту (роботи) «Дослідження впливу поверхневої модифікації на структуру та властивості різального інструменту зі швидкорізальної сталі» затверджена наказом по університету від «01» листопада 2022 р. №0996-VI

2. Термін здавання студентом закінченого проекту(роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) матеріали та завдання дослідження

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити) аналіз літературних джерел за темою роботи, вибір матеріалів та методів дослідження, проведення експериментальних досліджень, обґрунтування економічної ефективності наукових досліджень, опис шкідливих факторів, що виникають під час термічної та хіміко-термічної обробки

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

6. Консультанти по проекту (роботі), із значенням розділів проекту, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Говорун Т.П.		
Економічна частина	Берладір Х.В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ	Жовтень 2022	Виконано
2	РОЗДІЛ 2 ВИКЛАДЕННЯ ЗАГАЛЬНОЇ МЕТОДИКИ Й ОСНОВНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	Жовтень 2022	Виконано
3	РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ	Листопад 2022	Виконано
4	РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	Листопад 2022	Виконано
5	РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ	Грудень 2022	Виконано

7. Дата видачі завдання _____

Студент _____

(підпис)

Керівник проекту _____

(підпис)

АНОТАЦІЯ

Підопригора Владислав Вікторович. Дослідження впливу поверхневої модифікації на структуру та властивості різального інструменту зі швидкорізальної сталі. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота на здобуття кваліфікації магістра зі спеціальності 132 – Матеріалознавство. – Сумський державний університет, Суми, 2022.

Кваліфікаційна робота присвячена теоретичним та експериментальним дослідженням зміни структурного стану швидкорізальних сталей під час термічної обробки та іонно-плазмового азотування. Застосовані та апробовані експериментальні методи дослідження.

Для вирішення актуального завдання підвищення надійності та довговічності різального інструменту потрібно забезпечити йому високу зносостійкість. Інструмент під час роботи втрачає свої різальні властивості й виходить з ладу через передчасне зношування робочих поверхонь. В інструментальному виробництві найпоширенішими є швидкорізальні сталі, типу P18, P6M5 тощо. Такі сталі використовуються при обробці широкої номенклатури конструкційних матеріалів, таких як леговані сталі, чавуни, кольорові метали, композиційні матеріали та ін. Проте при механічній обробці важкооброблюваних конструкційних матеріалів на високих швидкостях різання, де температура в зоні контакту різального інструменту – важкооброблюваний матеріал досягає високих значень і, він піддається підвищеному зносу. Тому його різальну частину піддають поверхневому модифікуванню.

Ключові слова: ШВИДКОРІЗАЛЬНА СТАЛЬ, АЗОТУВАННЯ, МІКРОСТРУКТУРА, ТВЕРДІСТЬ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ.

ABSTRACT

Pidopryhora V. V. Investigation of the surface modification effect on the structure and properties of a cutting tool from high-speed steel. – The manuscript.

Qualifying paper for obtaining the qualification of master's degree in the specialty 132 – Materials science. – Sumy State University, Sumy, 2022.

The qualification work is devoted to theoretical and experimental studies of changes in the structural state of high-speed steels during heat treatment and ion-plasma nitriding. Applied and tested experimental research methods.

For solve the urgent task of increasing the reliability and durability of the cutting tool, it is necessary to provide it with high wear resistance. During operation, the tool loses its cutting properties and fails due to premature wear of the working surfaces. In tool production, the most common are high-speed steels, such as P18, P6M5, etc. Such steels are used in the processing of a wide range of structural materials, such as alloy steels, cast irons, non-ferrous metals, composite materials, etc. However, during machining of difficult-to-process structural materials at high cutting speeds, where the temperature in the contact zone between the cutting tool and the difficult-to-process material reaches high values, it is subject to increased wear. Therefore, its cutting part is subjected to surface modification.

Key words: HIGH-SPEED STEEL, NITRIDING, MICROSTRUCTURE, HARDNESS, WEAR RESISTANCE.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра вміщує **60 сторінок**, зокрема **7 рисунків**, **3 таблиці**, список із **73 використаних джерел** на **8 сторінках**.

Мета роботи – дослідження способу іонно-плазмового азотування швидкорізальних сталей та його впливу на структурний стан поверхневих шарів швидкорізальних сталей.

Об’єкт дослідження – технологія азотування інструментальних швидкорізальних сталей після їх термічної термообробки.

Предмет дослідження – особливості процесу формування структурного стану швидкорізальної сталі після термічної обробки та азотування.

Методи дослідження – для вивчення структурного стану швидкорізальної сталі після термічної обробки та азотування застосовувався класичний метод експериментального дослідження – металографічний аналіз, механічні характеристики азотованого шару визначалися шляхом вимірювання мікротвердості. Обробка результатів здійснювалася методами математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- отримані систематизовані дані щодо впливу різних методів поверхневого модифікування на зносостійкість різального інструменту;
- для підвищення зносостійкості швидкорізальних сталей запропонований спосіб іонно-плазмового азотування.

Ключові слова: швидкорізальна сталь, азотування, мікроструктура, твердість, зносостійкість.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ	12
1.1 Модифікація поверхневих шарів швидкорізальних сталей.....	12
1.2. Метод хімічного осадження покриттів	19
1.3. Метод фізичного осадження покриттів	20
Висновки	22
РОЗДІЛ 2 ВИКЛАДЕННЯ ЗАГАЛЬНОЇ МЕТОДИКИ Й ОСНОВНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	23
2.1. Матеріали дослідження	23
2.2 Установа для іонного азотування	27
2.3 Методики досліджень	28
2.3.1 Металографічний аналіз	28
2.4.1 Методика визначення мікротвердості.....	28
Висновки	29
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	31
3.1 Структурний стани швидкорізальних сталей після термічної обробки	31
3.2 Дослідження впливу іонного азотування на мікроструктуру швидкорізальних сталей.....	35
Висновки	37
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	39
4.1 Економічна ефективність науково-дослідних робіт.....	39
4.2 Особливості визначення економічної ефективності науково-дослідних робіт	40
Висновок	42
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....	43

5.1 Загальні правила з охорони праці і техніки безпеки при термічній обробці	43
5.2 Охорона довкілля.	48
Висновки	49
ВИСНОВКИ.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53

САНДІ

ВСТУП

Розвиток машинобудування значною мірою залежить від технічного рівня інструментального виробництва. Так, однією з найважливіших проблем сучасного машинобудування є забезпечення максимальної зносостійкості металообробного інструменту за різних умов навантаження у процесі обробки деталей різанням. Довговічність інструменту залежить не тільки від властивостей матеріалу, що визначаються технологією виготовлення та об'ємного зміцнення, а й значною мірою від властивостей поверхні. Її роль у забезпеченні експлуатаційних властивостей виробів постійно зростає, що сприяло, поряд із широким використанням традиційних методів хіміко-термічної обробки, появі та розвитку нового напрямку — інженерії поверхні методами енергетичного та фізико-хімічного впливу. Реалізація цієї концепції при виборі матеріалу дозволить покращити експлуатаційні властивості інструменту, і в ряді випадків знизити витрати дорогих матеріалів. Так, останнім часом за рахунок застосування захисних покриттів та поверхневого зміцнення, все більше застосовуються та виробляються швидкорізальні сталі, що дозволило скоротити витрати на дорогі тверді метали. При цьому важливу роль при застосуванні захисних покриттів та поверхневого зміцнення має використання ресурсозберігаючих технологій, що сприяють скороченню витрат ресурсів та енергії, підвищенню продуктивності праці.

Одним із перспективних методів поверхневого зміцнення є метод хіміко-термічної обробки — іонно-плазмовому азотуванні. Скорочення тривалості процесу насичення є одним із важливих напрямів подальшого розвитку цього процесу.

Як відомо, найбільш поширеним процесом хіміко-термічної обробки, що дозволяє підвищити стійкість інструменту з швидкорізальних сталей є азотування. В даний час розроблено велику кількість технологічних процесів азотування, заснованих на рідкому азотуванні в ціаністих ваннах, газовому

азотуванні тощо. Однак, незважаючи на масу переваг цих процесів, вони мають істотні недоліки.

Таким чином, тематика магістерської кваліфікаційної роботи, спрямована на вдосконалення процесу іонно-плазмовому азотування з метою застосування його для підвищення зносостійкості швидкорізальних сталей та вивчення структурного стану азотованих швидкорізальних сталей, є актуальною.

Метою роботи є дослідження способу іонно-плазмового азотування швидкорізальних сталей та його впливу на структурний стан поверхневих шарів швидкорізальних сталей.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні **задачі**:

- провести аналіз методів підвищення зносостійкості швидкорізальних сталей;
- експериментально дослідити структурний стан швидкорізальних сталей після термічної обробки;
- експериментально встановити залежності між параметрами азотування та структурним станом азотованого шару швидкорізальних сталей;
- надати рекомендації щодо зміцнення різального інструменту з швидкорізальних сталей іонно-плазмовим азотуванням.

Об'єкт дослідження – технологія азотування інструментальних швидкорізальних сталей після їх термічної термообробки.

Предмет дослідження – особливості процесу формування структурного стану швидкорізальної сталі після термічної обробки та азотування.

Методи дослідження – для вивчення структурного стану швидкорізальної сталі після термічної обробки та азотування застосовувався класичний метод експериментального дослідження – металографічний аналіз, механічні характеристики азотованого шару визначалися шляхом

вимірювання мікротвердості. Обробка результатів здійснювалася методами математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- отримані систематизовані дані щодо впливу різних методів поверхневого модифікування на зносостійкість різального інструменту;
- для підвищення зносостійкості швидкорізальних сталей запропонований спосіб іонно-плазмового азотування.

Практичне значення отриманих результатів.

Отримані результати теоретичних та експериментальних досліджень дають більш глибокі уявлення про процес формування модифікованого поверхневого шару в легованих сталях при іонно-плазмовому азотуванні, його структурі, складі та властивості. Крім того, закономірності формування модифікованих шарів у швидкорізальних сталях при іонно-плазмовому азотуванні, виявлені в цій роботі, можуть бути використані дослідниками при виборі режимів обробки легованих сталей, а також при аналізі структурних перетворень швидкорізальних сталей.

Особистий внесок. Автору належить аналіз літературних джерел, постановка завдань дослідження та визначення мети, проведення під керівництвом керівника досліджень структури і властивостей зразків, оформлення тексту роботи.

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 60 сторінок, у тому числі 7 рисунків, 3 таблиці, список із 73 використаних джерел на 8 сторінках.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1.1 Модифікація поверхневих шарів швидкорізальних сталей.

В даний час універсальним матеріалом для виготовлення металорізального інструменту є швидкорізальні сталі, які поєднують у собі високу міцність, твердість зносостійкість і досить високу пластичність. Використання швидкорізальної сталі сприяло різко підняти продуктивність механічної обробки деталей (у 8-10 рази), з'явилися потужні та швидкохідні металорізальні верстати, почалася автоматизація промислового виробництва. Швидкорізальна сталь і метод її гартування відомі вже достатньо років і, необхідно зазначити, що за цей час не було знайдено матеріалу, здатного його замінити. Такі інструментальні матеріали як тверді сплави, надтверді матеріали та металокерамічні композити мають обмежені сфери застосування та не можуть конкурувати зі швидкорізальними сталями при масовому виготовленні інструментів для обробки металів.

Виробництво різального інструменту зі швидкорізальних сталей проходить через велику кількість технологічних операцій. При цьому одні з найважливіших – різні види термообробок. Сюди входять попередня термічна обробка та остаточна термічна обробка. Попередня термічна обробка передбачає зниження твердості заготовок, поліпшення їх оброблюваності різанням та підготовку до подальшої термічної обробки. Остаточна термічна обробка в класичному варіанті в залежності від типу застосовуваної сталі включає ступінчастий нагрівання під гартування для зменшення внутрішніх напружень і попередження деформацій. Після остаточного нагріву інструмент піддають гартування та відпуску за індивідуальними режимами з урахуванням конкретного типу сталі [1].

Протягом останніх 20-ти років особлива увага приділяється розробкам та дослідженню способів додаткової поверхневої обробки, які є заключним

етапом у технологічному ланцюжку виготовлення швидкорізального інструменту та призначених для додаткового підвищення твердості, створення корисних стискаючих напружень, підвищення межі міцності, зменшення фрикційної взаємодії оброблюваного та інструментального матеріалів у процесі різання.

Усі методи зміцнюючої поверхневої обробки швидкорізальних інструментів можна розділити на великі групи, які принципово відрізняються один від одного. Перша група методів спрямована на модифікацію поверхневих властивостей швидкорізального інструменту. Друга група методів передбачає нанесення на поверхні інструменту додаткових покриттів із підвищеними фізико-механічними властивостями. Найперспективнішим є перша група методів.

Методи поверхневої модифікації швидкорізального інструменту умовно можна розділити на 3 групи [2]: механічні, фізичні та хіміко-термічні.

Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки, проте з економічних міркувань і завдяки технологічній простоті та ефективності найбільш широкого застосування знайшли хіміко-термічні методи модифікації поверхні інструментів із швидкорізальних сталей.

Ріжучі інструменти, перш за все, повинні бути зносостійкими, твердими, міцними, мати високу теплостійкість і корозійну стійкість. Найбільш прийнятними і такими, що забезпечують дані вимоги є процеси азотування, нітроцементзації (ціанування), борування, і сульфидування.

Дифузійне насичення поверхні металу сполуками бору у вигляді боридів заліза Fe_2B та FeB застосовують для підвищення зносостійкості та теплостійкості виробів, у тому числі, що працюють при підвищених або знижених температурах, знакозмінних та ударних навантаженнях або в агресивних та абразивних середовищах. Борування переважно використовується для зміцнення металевих поверхонь, що працюють на стирання: ріжучих інструментів зі швидкорізальних сталей, штампового

інструменту, прес-форм, деталей дробильних машин і деталей, що працюють при температурах 500-850°C.

Борування проводять в суміші порошків, що містять бор, паст, газів або в розплаві солей. Внаслідок борування можлива зміна розмірів деталі. Тому при виготовленні точних та високоточних деталей доцільно їх обробку виконувати у такій послідовності: попередня механічна обробка (обдирка); поліпшення (гартування та низький відпуск за режимами, що відповідають маркам сталей); механічна обробка з припуском на доведення до розмірів, борування, термічна обробка задля забезпечення необхідного комплексу властивостей основного металу; остаточне доведення розмірів зміцнених деталей методами механічної обробки (шліфування, полірування). В результаті борування стійкість штампового інструменту з вуглецевих сталей підвищується до 10 разів, з інструментальних легованих сталей – у 3-4 рази [3-5].

Загальні недоліки процесу борування поверхонь: викришування при експлуатаційних температурах вище 800°C, продавлювання та відколювання боридних шарів високої твердості, що спираються на менш міцну основу, труднощі відновлення зношеної поверхні через високу твердість залишків боридних шарів.

Сульфідуванию піддають технологічне оснащення і інструменти, виготовлені з швидкорізальних сталей всіх марок та сталі типу ХВГ та 9ХС, з метою покращення антифрикційних властивостей поверхонь. Як показав аналіз, сульфідування різальних інструментів дає суперечливі результати: в одних випадках [6] досягається підвищення зносостійкості в 1,5-2 рази, в інших [7] воно не виявляється ефективним. Тому в промислових умовах для підвищення стійкості різальних інструментів сульфідування поки що не знаходить широкого застосування.

Найчастіше в практиці інструментального виробництва для зміцнення інструментів із швидкорізальних сталей використовуються методи спільного

насичення їх поверхневих шарів азотом та вуглецем (ціанування, карбонітрація, нітроцементация).

Ціанування є процесом поверхневого насичення сталі азотом і вуглецем в розплавах ціановмісних солей. В якості насичувальних середовищ використовуються ціаніди та ціанати лужних та лужноземельних металів, їх суміші, сечовина, ціанаміди та інші сполуки [8, 9].

Ціанування швидкорізальних сталей постійно вдосконалюється, головним чином у напрямку інтенсифікації процесу, для чого пропонуються ванни з добавками до ціаністих солей, що прискорюють процес насичення, використовується продування розплавлених солей аміаком [10], розроблені склади ванн із сечовиною [11], розроблена карбонітрація сталей при підвищених температурах [12]. Цей процес також має деякі недоліки. Підтримка активності насичувальних середовищ, при ціануванні, потребує періодичного введення до складу високотоксичних сполук (KCN та інших.) [13, 14]. У разі використання нетоксичних вихідних компонентів ванни, на основі карбаміду, в розплаві в результаті хімічних реакцій утворюються ціаністі сполуки, кількість яких становить близько 20% всього об'єму розплаву [15]. Крім цього, в результаті взаємодії розплаву з інструментальним матеріалом та тиглем спостерігається їх розчинення. Цей недолік змушує застосовувати тиглі зі спеціальних сплавів, що призводить до підвищення вартості технології.

В даний час ціанування поступово витісняється з виробництва, оскільки вважається неперспективним через надзвичайно високу токсичність ціаністих солей і продуктів їх розпаду й екологічних проблем, що виникають під час застосування шкідливих складів ван. Поряд із ціануванням в інструментальному виробництві досить широко використовується насичення швидкорізальних сталей у газових середовищах – низькотемпературна нітроцементация. Низькотемпературна нітроцементация зручніша в масовому

виробництві, а її результати близькі за зміцнювальним ефектом до результатів, одержуваних у ціаністих ваннах.

Обробку інструменту при газовій нітроцементації проводять в атмосфері, що складається з суміші аміаку з газами, що містять вуглеводні, таких як метан, продукти піролізу рідких вуглеводнів (синтину, гасу і т.п.) [16]. Процес проводять при температурі 570-580°C протягом 2-5 годин у шахтних герметичних камерних або прохідних печах. Для рівномірного насичення всіх поверхонь інструментів використовують інтенсивну примусову циркуляцію газової атмосфери. В результаті нітроцементації на поверхні ріжучих інструментів формуються карбонітридні зони товщиною 7-25 мм, що складаються в основному з ϵ -фази та азотистого аустеніту [8, 12, 15]. Нітроцементація дуже ефективна для зміцнення ріжучого інструменту з швидкорізальних сталей. Діяльність [12] показано, що нітроцементація сталей P9, P18, P9K5, P6M5 тощо. при температурах 550-580°C протягом 1-1,5 год, дозволяє підвищити їхню зносостійкість у 1,5-3 рази.

Прикладів позитивного досвіду використання нітроцементації для покращення фізико-механічних властивостей інструментальних сталей у літературі досить багато, проте слід згадати і про недоліки цього процесу. По-перше, нітроцементація призводить до окрихчення інструментальної сталі і не відрізняються великою в'язкістю. Механізм такого окрихчення ще недостатньо вивчений, хоча вважається, що причиною зниженої ударної в'язкості нітроцементованих сталей є наявність на їх поверхнях твердих та крихких карбонітридних кірок [17]. Існує й інше пояснення цього явища, пов'язане з наявністю водню в дифузійних шарах [18]. Другий недолік пов'язаний з проблемами екології, тому що при нітроцементації у відпрацьованій газовій атмосфері містяться такі шкідливі речовини, як аміак, окис вуглецю, вугільна та синильна (ціаністий водень) кислоти. Для захисту навколишнього середовища при нітроцементації необхідна інтенсивна вентиляція (відсмоктування газів) та нейтралізація або утилізація шкідливих

речовин до виходу їх в атмосферу. Вирішення екологічних проблем, пов'язаних із нітроцементациєю, значно (у кілька разів) здорожчує її проведення. Азотування швидкорізального інструменту, тобто насичення його поверхні чистим азотом може дати значний ефект підвищення стійкості без зміни структури серцевини інструменту. Низька температура процесу дозволяє азотувати готовий інструмент, що пройшов попередню механічну та термічну обробку. Азотована поверхня сталі має знижений коефіцієнт тертя та покращені антифрикційні властивості, що забезпечує легке відведення стружки, знижує нагрівання інструменту та зменшує його знос. Все це дає можливість збільшити подачу та швидкість різання, а отже, і швидкість металообробки. Як повідомляється в роботі [19] в результаті азотування стійкість фрез, свердл та іншого інструменту збільшується від 2 до 8 разів.

У традиційному вигляді азотування для підвищення стійкості інструментів швидкорізальних та інших інструментальних сталей використовується рідко. Це пов'язано з тим, що при азотуванні традиційними методами такими, як газове азотування, реакції азоту із залізом і легуючими елементами, присутніми в сталі, відбуваються при низькій температурі досить повільно, тому для отримання на поверхні деталі азотованого шару достатньої глибини необхідна тривала витримка близько 15-20 годин та більше. Необхідність тривалої витримки при азотуванні є основним недоліком цього процесу.

З метою інтенсифікації процесу насичення оброблюваної поверхні, останніми роками все ширше застосовується високотемпературне іонне азотування для підвищення експлуатаційних властивостей інструментальних сталей, особливо для ріжучого (P6M5, P18, P9 та ін.) та штампового (X12, X12Ф1, X6ВФ та ін.) інструменту [20]. Процес високотемпературного азотування здійснюється в азотовмісному середовищі, в діапазоні температур від 600 до 1200°C, тобто вище температури евтектоїдного перетворення Al у системі Fe-N, коли в дифузійному шарі утворюється γ -фаза [21-23]. В

результаті високотемпературного азотування у конструкційних сталях та сплавах формується структура, що складається з дисперсних частинок нітридів, розподілених у твердому розчині. Отримані таким чином стійкі тонкодисперсні нітридні частинки в сталях і сплавах забезпечують високі експлуатаційні характеристики [24, 25].

Авторами роботи [26, 27], було запропоновано проводити високотемпературне азотування інструментальних сталей плазмою тліючого розряду з порожнистим катодом при температурах 700-720°C, коли дифузійна рухливість елементів різко зростає, а час азотування скорочується до 1-2 годин, а також комбіновану обробку, що складається з високотемпературного азотування та подальшого світлого гартування у вакуумі за один технологічний цикл. За таких режимів азотування на поверхні зразків швидкорізальної сталі Р6М5 відбувається значне збільшення мікротвердості [28].

Проте, підвищення температури нагрівання з метою збільшення коефіцієнта дифузії погіршує структуру виробу, отриманого попередньою термообробкою, і сприяє жолобленню виробу. Оскільки ХТО швидкорізальних сталей доцільно проводити після зміцнювальної термічної обробки, у загальносвітловій практиці найбільшого поширення для азотування ріжучого інструменту набула обробка в плазмі тліючого розряду (іонне азотування) [29]. Енергія тліючого розряду в розрідженому газі використовується для перенесення іонів азоту до поверхні оброблюваної деталі, яка служить катодом. При цьому іони, що рухаються, забезпечують катоду енергію, достатню для його нагрівання до температури азотування.

Іонне азотування забезпечує велику швидкість насичення, отримання дифузійних шарів заданого складу та незначні деформації у процесі обробки [30]. Іонне азотування при 560°C протягом 10-30 годин дозволяє помітно збільшити стійкість інструментів зі швидкорізальної сталі типу Р6М5 [31].

Новим етапом у розвитку іонного азотування швидкорізальних сталей стало азотування у плазмі двоступінчастого вакуумного дугового розряду [32]. Такий розряд може існувати в різноманітних газових середовищах, тобто є можливість проводити азотування в різних насичуючих газах та їх сумішах. Температура азотування регулюється величиною потенціалу інструментом чи величиною струму дугового розряду. Головна перевага полягає в тому, що швидкість азотування на початковому етапі в 3 рази вище, ніж при азотуванні в розряді, що тліє.

1.2. Метод хімічного осадження покриттів

Цей метод заснований на гетерогенних хімічних реакціях парогазового середовища, що знаходиться навколо інструменту, в результаті яких утворюються покриття. Вихідними продуктами є газоподібні галогеніди, при взаємодії яких з іншими складовими сумішеш (воднем, аміаком, окисом вуглецю) утворюється покриття. Розкладання галогеніду відбувається внаслідок термічної хімічної реакції за температури 1000-1100 °C [33].

Покриття формується адсорбцією, з подальшою дифузією, вуглецю в покриття або хемосорбцією з утворенням тугоплавкої сполуки. Найбільш вірогідний інтегральний механізм формування покриття, що включає обидва процеси – хемосорбцію з осадженням з'єднання та адсорбцію з подальшою дифузією.

Метод хімічного осадження покриттів із парогазової фази (CVD) широко використовується при масовому виробництві (5÷10тис.) твердосплавних пластин і цільнотвердосплавного інструменту. Цей метод має підгрупи: газотермічний метод (ГТ), ліцензійні технології шведської фірми «Сандвік Коромант» (технологія GM) та австрійської фірми «Планзее» (технологія GC), методи термодифузійного насичення (ТДН), до яких відноситься метод дифузійної термообробки (метод ДТ) [33, 34].

В основі методу лежать високотемпературні гетерофазні реакції, в основі яких використовують галогеніди металів, газівідновник (H_2) та реакційні гази. На властивості та параметри покриття (мікротвердість, товщина, фазовий склад, структуру) впливають реагенти парогазової суміші, тиск суміші та швидкість подачі.

Недоліки цього полягають у наступному:

1. Виділення активних реагентів призводить до крихкості покриття, зниження адгезії з твердим сплавом, зміни фізико-механічних властивостей та теплофізичних властивостей.

2. Зміцнений різальний інструмент методом хімічного осадження покриттів не використовують у наступних технологічних операціях різання:

- різання важкооброблюваних матеріалів;
- чорнове фрезерування;
- нарізання широкохідного різьблення для газових труб.

1.3. Метод фізичного осадження покриттів

Методи фізичного осадження покриття (PVD) засновані на випаровуванні речовини у вакуумний простір камери з подачею реакційного газу (азот, кисень, метан та ін.). Відмінність методів фізичного осадження покриття полягає у принципах фізичного випаровування речовини, різного ступеня іонізації паро-іонного потоку, конструктивних особливостях установок. Серед методів фізичного осадження покриття найбільшого поширення набули: конденсація речовини з плазмової фази у вакуумі з іонним бомбардуванням (технологія КІБ); магнітронно-іонне розпилення (метод СВІТ); іонне плакування та його різновид (метод ARE).

Всі ці технології є універсальними, оскільки можна варіювати температурою в зонах нанесення покриттів [33, 34].

Покриття можна розглядати як деяке проміжне технологічне середовище між інструментальним та оброблюваним матеріалами, за

допомогою якого можна досить ефективно управляти властивостями основи: твердість, теплостійкість, тріщиностійкість, фізико-хімічна пасивність по відношенню до матеріалу, що обробляється. Функціональними параметрами процесу різання: рівень деформування шару, що зрізається, сили різання, температури, термомеханічні напруження і т.д. та інтенсивністю зношування інструменту [35].

Як показано в роботах [36-42] найбільш ефективно властивостями ріжучого інструменту з покриттям, можна керувати за рахунок варіювання хімічним складом покриття, його структурою та типом зв'язку з інструментальним матеріалом. У свою чергу, зазначені параметри сильно залежатимуть від методу нанесення покриття та технологічних умов формування вихідних властивостей. Зокрема, вплив на структуру та дефектність покриття, тип зв'язку з інструментальною матрицею може здійснити субструктура, забрудненість та дефекти при поверхневих шарів [33, 34, 40, 43-45].

Синтез покриттів здійснюється з допомогою електродугового випарника, тобто із плазми електродугового розряду. Системи вакуумно-дугового випаровування застосовують для будь-якої основи (інструментальний матеріал), включаючи напівтеплостійкі штампові сталі та кераміку, так як у процесі синтезу температурні дані можуть змінюватись у дуже широких межах (100-1000°C).

Переваги методу фізичного осадження покриття:

1. Метод дозволяє синтезувати покриття на основі одинарних, подвійних, потрійних систем нітридів, карбідів, боридів, силіцидів та їх сумішей: (Ti, Cr)N; (Ti, Nb, Cr)N, (Ti, Nb, Cr)C.

2. Метод дозволяє отримувати багатошарові покриття, що мають більш збалансоване співвідношення таких найважливіших характеристик, як в'язкість, твердість; більш стійких до руйнування при застосуванні циклічних навантажень; більш високу тріщиностійкість.

3. Метод має високу продуктивність та малу тривалість синтезу покриттів порівняно із методом CVD.

Однак метод фізичного осадження покриття має недоліки, такі як:

- у процесі випаровування металу (особливо з низькою атомною вагою – Ti, Al), утворюється краплинна фаза з матеріалу катода, яка осаджується на поверхню покриття і знижує його якість;

- у процесі конденсації покриття, як на кромках, так і на поверхні ріжучого інструменту, виникають мікродуги, що призводять до ерозії (електроерозії), а гострі кромки інструменту можуть скруглитися, тобто відбутися процес окрихчення.

Висновки

Таким чином, можна встановити, що азотування є найбільш ефективним методом хіміко-термічної обробки, яке забезпечує високий комплекс експлуатаційних властивостей різальних інструментів, що обробляються, з швидкорізальних сталей: твердість, зносостійкість, протизадирні властивості, теплостійкість, корозійну стійкість, втомну міцність. Останнім часом все більший розвиток та застосування отримують різні методи та способи плазмового азотування, які дозволяють не тільки позбутися недоліків традиційних методів азотування. Методи плазмового азотування забезпечують формування на поверхні оброблюваних деталей азотованого шару із заданою структурою. При цьому підвищується зносостійкість інструменту та його теплостійкість. Азотована поверхня інструменту, що володіє зниженим коефіцієнтом тертя та покращеними антифрикційними властивостями, забезпечує більш легке відведення стружки, а також запобігає її налипанню на ріжучі кромки та утворенню лунок зносу, що дає змогу збільшити подачу та швидкість різання. У зв'язку з вищевикладеним весь подальший матеріал викладено стосовно процесів азотування.

РОЗДІЛ 2

ВИКЛАДЕННЯ ЗАГАЛЬНОЇ МЕТОДИКИ Й ОСНОВНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Матеріали дослідження

Відповідно до поставлених завдань як матеріал дослідження були обрані інструментальні швидкорізальні сталі Р6М5, Р9 і Р18. Застосування швидкорізальних сталей для ріжучого інструменту дозволяють підвищити швидкість різання в кілька разів, а стійкість інструменту в десятки разів [46]. Головною відмінністю швидкорізальних сталей є їх висока теплостійкість або червоностійкість (600-700°C) за наявності високої твердості (63-70 HRC) і зносостійкості інструменту.

Унікальні властивості швидкорізальних сталей досягаються за допомогою спеціального легування та складної термічної обробки, що забезпечують певний фазовий склад [47]. У таблиці 2.1 показаний хімічний склад швидкорізальних сталей Р6М5, Р9 та Р18.

Таблиця 2.1

Хімічний склад швидкорізальних сталей відповідно до [48]

Марка сталі	C	Mn	Si	Cr	W	V	Co	Mo	Ni	Cu	S	P
Р9	0.85	до	до	3.80	8.50	2.30	до	до	до	-	до	до
	- 0.95	0.50	0.50	- 4.40	- 9.50	- 2.70	0.50	1.00	0.40		0.03	0.03
Р6М5	0.82	0,20	0,20	3.80	5.50	1.70	до	4.80	до	до	до	до
	- 0.9	- 0.50	- 0.50	- 4.40	- 6.50	- 2.10	0.50	- 5.30	0.60	0.25	0.02 5	0.03
Р18	0.73	0,20	0,20	3.80	17.00	1.00	до	до	до	до	до	до
	- 0.83	- 0.50	- 0.50	- 4.40	- 18.50	- 1.40	0.50	1.00	0.60	0.25	0.03	0.03

Вибір матеріалів дослідження обґрунтований тим, що швидкорізальні сталі Р6М5, Р9, Р18 є найбільш поширеними в металообробці, типовими

швидкорізальними сталями помірної теплостійкості [47]. В даний час для зменшення витрати дорогих і дефіцитних елементів, особливо вольфраму, переважно використовують економнолеговані сталі. З них найбільш широке застосування має сталь Р6М5 [49], тому докладніше дослідження проводилося на швидкорізальній інструментальній сталі Р6М5. Основними легуючими елементами швидкорізальних сталей Р6М5, Р9, Р18, що забезпечують високу червоностійкість, є вольфрам, молібден, ванадій. Крім того, ці сталі легують хромом. Важливим компонентом є вуглець [47]. Вміст вуглецю в сталі має бути достатнім, щоб забезпечити утворення карбідів легуючих елементів. Так при вмісті вуглецю менше 0,7% не виходить високої твердості в загартованому та відпущеному стані. Вплив підвищеного вмісту вуглецю в сталях з молібденом більш сприятливий, ніж у вольфрамових.

Головною особливістю швидкорізальних сталей є їх висока теплостійкість (600-700°C) за наявності високої твердості (63-70HRC) і зносостійкості інструменту. Унікальні властивості швидкорізальних сталей досягаються за допомогою спеціального легування та складної термічної обробки. Основними легуючими елементами є вольфрам, молібден, ванадій. Крім них усі сталі легують хромом, а деякі – кобальтом та ніобієм. Важливим компонентом є вуглець. Залежно від ступеня розкисленості металу та шлаку вольфрам засвоюється на 86,5-93%; Мо на 87-95%; V на 61-65 та Cr на 83-85%.

Карбідоутворюючі елементи утворюють у сталі спеціальні карбіди: Me_6C на основі вольфраму і молібдену, MeC на основі ванадію і $Me_{23}C$ на основі хрому. Частина атомів Me становить залізо та інші елементи. Вольфрам та молібден є основними легуючими елементами, що забезпечують червоностійкість. Вони утворюють у сталі карбід Me_6C , який при аустенізації часто переходить у твердий розчин, забезпечуючи отримання після гартування легованого вольфрамом (молібденом) мартенситу. Вольфрам та молібден ускладнюють розпад мартенситу при

нагріванні, забезпечуючи необхідну червоністькість. Нерозчинена частина карбіду Me_6C приводить до підвищення зносостійкості сталі. Молібден за впливом на теплостійкість замінює вольфрам за співвідношенням $Mo : W = 1 : 1,5$.

Ванадій утворює у 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 та насичення твердого розчину. Карбід MeC , частково розчиняючись в аустеніті, збільшує червоністькість та підвищує твердість після відпуску завдяки ефекту дисперсійного твердіння. Нерозчинена частина карбіду MeC підвищує зносостійкість сталі.

Хром у всіх швидкорізальних сталях міститься в кількості близько 4%. Він є основою карбіду $Me_{23}C_6$. При нагріванні під загартування цей карбід повністю розчиняється в аустеніті при температурах значно нижчих, ніж температури розчинення карбідів Me_6C і MeC . Внаслідок цього основна роль хрому в швидкорізальних сталях полягає в наданні сталі високої прогартованості. Він впливає і на карбідоутворення при відпуску.

Карбідоутворюючі елементи, які містяться в сталі, утворюють спеціальні карбіди: Me_6C на основі вольфраму та молібдену, MeC на основі ванадію та $Me_{23}C_6$ на основі хрому. Частина атомів металу у зазначених карбідах становлять залізо та інші елементи.

Сталями, що найбільш широко використовуються, є сталі без молібдену (марки P12, P9 та інші), а «еталоном», хоча в ряді випадків і відносним, є сталь P18. Однак гостра дефіцитність вольфраму призвела до часткової його заміни на молібден. Заміну вольфраму молібденом проводять виходячи із співвідношення $Mo:W=1:1,5$, проте загальний вміст молібдену в сталі не повинен бути більше 5%. Вважається, що найбільш оптимальні властивості та раціональна вартість інструменту досягається за умови $\Sigma(W+1,5 Mo)=12...13$ %. За цим принципом створена сталь P6M5, яка в

останні роки знайшла широке застосування. Випуск цієї сталі становить приблизно 70% від загального випуску швидкорізальних сталей. Значний вплив основних легуючих елементів на фазовий склад швидкорізальної сталі визначається тим, що вони утворюють стійкі карбіди.

Висока значимість ванадію як легуючого елемента визначається також тим, що у ряді випадків він є ефективним заміником дефіцитних вольфраму, молібдену, нікелю та ніобію. Ванадій утворює в сталі найбільш твердий карбід VC (MeC) (HV 2700-2800). Максимальний ефект від введення в сталь ванадію досягається за умови, що вміст вуглецю в сталі буде підвищеним для утворення великої кількості карбідів та насичення твердого розчину. Ванадій, крім часткового розчинення в карбіді M_6C , швидкорізальної сталі утворює самостійний карбід VC або V_4C_3 . Зі збільшенням вмісту ванадію або зменшенням вмісту вольфраму (від ~ 1%) відносна кількість карбідів ванадію в сталі, що містить близько 5% V при 9...12% W, становить за деякими даними 30...40% від загальної кількості карбідів.

Хром у відпаленій сталі в основному розподіляється між феритом та карбідом M_6C . Він утворює також карбід типу $Me_{23}C_6$, склад якого $(Cr, Fe, W)_{23}C_6$ може змінюватися рахунок заміщення хрому вольфрамом до складу $Fe_{23}W_2C_6$. Хром у всіх швидкорізальних сталях міститься в кількості близько 4%. Роль хрому в швидкорізальних сталях полягає у наданні сталі високої прогартованості. Він впливає і на карбідоутворення при відпуску.

Кобальт застосовують для додаткового легування швидкорізальної сталі з метою підвищення червоностійкості. Перебуваючи у твердому розчині та частково у складі карбіду Me_6C кобальт може при відпуску утворювати інтерметаліди типу $(Co, Fe)_7(W, Mo)_6$. Кобальт збільшує стійкість проти відпуску та твердість швидкорізальних сталей (до HRC 67-70). Головною причиною, що стримує широке застосування кобальтових сталей є дефіцитність і висока вартість кобальту.

Ніобій є сильним карбідоутворюючим елементом у швидкорізальній сталі, і проявляється у вигляді карбіду NbC, практично не розчинного в аустеніті і не підвищує теплостійкості. Карбіди ніобію мають підвищену стійкість і зберігають свою твердість при підвищених температурах. Позитивний вплив карбідів ніобію в основному полягає в тому, що вони затримують зростання зерна при нагріванні для гартування.

2.2 Установа для іонного азотування

Азотування проводили в установці ІОН-50 в атмосфері дисоційованого аміаку при тиску 1,0-1,6 кПа (рис. 2.1). Нагрів проводився зі швидкістю 500 град/годину за рахунок енергії плазмового розряду, збуджуваного між корпусом установки і зразками. Зразки встановлювалися на столі, який служив катодом установки. Тривалість азотування складала 4, 8 та 16 годин. Контроль температури здійснювався термопарою ХА, встановленою на столі зі зразками [50].



Рисунок 2.1 – Установка ІОН-50 [51]

Установка ІОН-50 призначена для поверхневого зміцнення – азотування в сильноточному тліючому розряді деталей машин та інструменту з конструкційних і легованих сталей, включаючи інструментальні. Високотехнологічне обладнання потужністю 50, 100 або 200 кВт дозволяє підвищувати зносо- та корозійну стійкість виробів у ручному або програмному режимі роботи. Дві робочі камери забезпечують більшу продуктивність, екологічну чистоту та високу культуру виробництва.

2.3 Методики досліджень

2.3.1 Металографічний аналіз

Для виявлення структури досліджуваних матеріалів застосовувалась оптична металографія. Для металографічного аналізу використовували оптичний світловий мікроскоп МІМ-7.

Шліфи для досліджень готувалися за стандартною методикою, що включає механічне шліфування та механічне полірування [52].

Полірування здійснювалося на шліфувальному диску, обтягнутому фетром, попередньо промитому і вимоченому у воді протягом 1-2 годин. Далі, з метою виявлення структури, шліфи зазнавали травлення. Для травлення використовувався 4% спиртовий розчин азотної кислоти.

Якісний та кількісний металографічний аналіз проводили відповідно до рекомендацій, наведених у роботах [53-55].

2.4.1 Методика визначення мікротвердості

Мікротвердість, поряд зі втомною міцністю та зносостійкістю, є однією з найбільш широко використовуваних механічних характеристик металів і сплавів [56]. При цьому випробування на мікротвердість відрізняється від інших методів визначення механічних властивостей матеріалів високою чутливістю та малим часом проведення випробувань. Воно здійснюється без руйнування зразків, що вимагає мінімум витрат при їх підготовці.

Вимірювання мікротвердості зразків сталей проводили на приладі ПМТ-3 відповідно до [57], при навантаженнях на індентор $P=1$ Н і витримки при цьому навантаженні 10 сек. У ряді робіт є досить повні відомості про метод визначення мікротвердості матеріалів, про мікроструктурні зміни, які мають місце при випробуваннях, фізичної природи процесів мікроідентифікації [58]. Як індентор при вимірюванні мікротвердості використовували правильну чотиригранну алмазну піраміду з кутом при вершині між протилежними гранями 136° , аналогічно визначенню твердості за Віккерсом. Число вимірювань на один зразок становило не менше 20.

При проведенні випробувань відповідно до рекомендацій [57] дотримувалися наступних правил:

- відстань від центру відбитка до краю має бути не менше подвійного розміру відбитка;
- відстань між центрами сусідніх відбитків має перевищувати розмір відбитка більш як 3 рази;
- мінімальна товщина шару повинна перевищувати глибину відбитка не менше ніж у 10 разів.

Висновки

В розділі представлено обґрунтування матеріалів для дослідження. Це сталь Р6М5. Основними легувальними елементами в сталі є вольфрам і молібден, що забезпечують теплостійкість ($600-700^\circ\text{C}$). Вуглець в сталі (біля 1%) забезпечує високу твердість в загартованому та відпущеному стані. Основна роль хрому в швидкорізальних сталях – надання сталі високої прогартованості. Він впливає і на карбідоутворення при відпуску. Карбідоутворюючі елементи, які містяться в сталі, утворюють спеціальні карбіди: Me_6C на основі вольфраму та молібдену, MeC на основі ванадію та Me_{23}C_6 на основі хрому. Частина атомів металу у зазначених карбідах становлять залізо та інші елементи.

Обрано установку для іонно-плазмового азотування. Азотування проводили в установці ІОН-50 в атмосфері дисоційованого аміаку при тиску 1,0-1,6 кПа. Нагрів проводився зі швидкістю 500 град/годину за рахунок енергії плазмового розряду, збуджуваного між корпусом установки і зразками. Зразки встановлювалися на столі, який служив катодом установки. Тривалість азотування складала 4, 8 та 16 годин.

Для виявлення структури досліджуваних матеріалів застосовувалась оптична металографія. Для металографічного аналізу використовували оптичний світловий мікроскоп МІМ-7. Шліфи для досліджень готувалися за стандартною методикою, що включає механічне шліфування та механічне полірування. Для виявлення мікроструктури використовували процес травлення у 4% спиртовому розчині азотної кислоти.

Вимірювання мікротвердості зразків сталей проводили на приладі ПМТ-3.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Структурний стани швидкорізальних сталей після термічної обробки

Високі ріжучі властивості швидкорізальних сталей (висока теплостійкість за високої твердості та зносостійкості) досягаються за допомогою спеціального легування та складної термічної обробки, що забезпечують певний фазовий склад [59]. Крім того, зі збільшенням швидкості різання зростають вимоги до теплостійкості сталі. Теплостійкість швидкорізальних сталей обумовлена легуванням карбідотвірними елементами, такими як вольфрам, ванадій, молібден та хром. Ці елементи у певних температурно-часових умовах формують певні об'єми карбідної фази, які є зміцнюючою фазою матеріалу [60]. Високу теплостійкість інструмент із швидкорізальних сталей набуває після гартування та багаторазового відпуску.

Відпуск після гартування в межах температур, встановлених для різальних інструментів, призводить до зниження вмісту вуглецю в мартенситі та утворення ультрамікроскопічних карбідів [61]. Ці карбіди грають важливу роль у механічних властивостях сталі, сприяють збільшенню твердості, зносостійкості та теплостійкості [62].

У зв'язку з цим, в якості вихідного стану швидкорізальних сталей обрали стан, який досліджувані сталі набувають після стандартної термічної обробки, тобто після гартування та триразового відпуску. Як відомо, аналіз мікроструктури та фазового складу сталі після гартування з подальшим відпуском дозволяє оцінювати її властивості в умовах експлуатації.

В даний час розроблено велику кількість концепцій, виявлено цілу низку закономірностей, що пов'язують мікроструктуру матеріалу з його

фізичними та механічними властивостями. Тим не менш, особливості карбідних фаз, які відіграють важливу роль у механічних властивості швидкорізальних сталей мало вивчені. У зв'язку з цим, для встановлення основних закономірностей структурно-фазових перетворень у швидкорізальних сталях при іонному азотуванні попередньо було досліджено структурно-фазові стани зразків швидкорізальних сталей Р6М5, Р9 та Р18 у вихідному стані.

На рисунку 3.1 показані мікроструктури сталей Р6М5, Р9 та Р18 у вихідному стані, тобто після стандартної термообробки. Режим термічної обробки подані у табл. 3.1, а графік термічної обробки – на рис. 3.2.

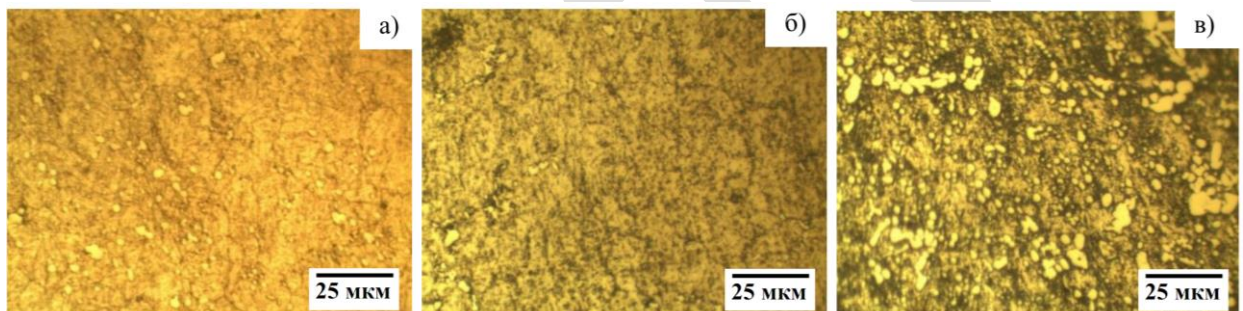


Рисунок 3.1 – Мікроструктура сталей Р6М5 (а), Р9 (б) и Р18 (в)

Таблиця 3.1 – Режими попередньої термічної обробки швидкорізальних сталей

Марка сталі	Режими термічної обробки	
	Гартування	Відпуск
Р9	з 1240 ° С в масло	560°С (триразовий: тривалість кожного відпуску 1 год, охолодження повітря)
Р6М5	з 1230 ° С в масло	560°С (триразовий: тривалість кожного відпуску 1 год, охолодження повітря)
Р18	з 1270 ° С в масло	560°С (триразовий: тривалість кожного відпуску 1 год, охолодження повітря)

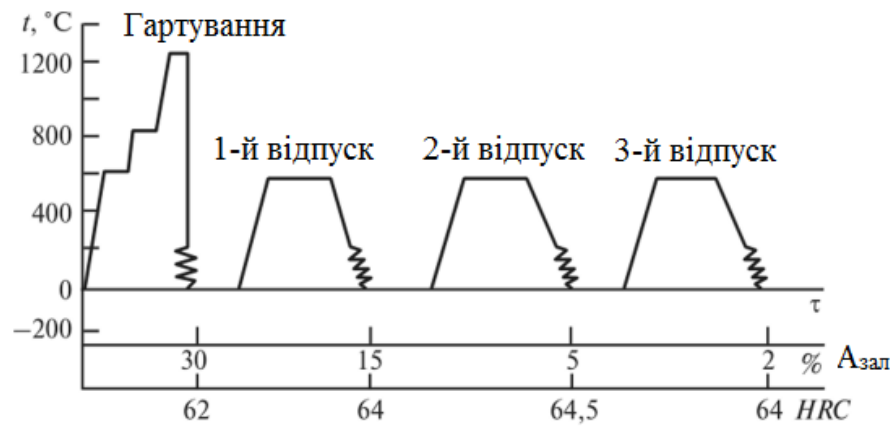


Рисунок 3.2 – Графік термічної обробки швидкорізальної сталі

З рисунка 3.1 видно, що мікроструктури сталей Р6М5, Р9 та Р18 дуже схожі одна на одну і складаються з мартенситу відпуску та спеціальних карбідів. У роботах [63, 64] авторами встановлено, що після стандартної термічної обробки у структурі сталі присутні мартенсит та спеціальні карбіди. Не спостерігалось залишкового аустеніту у матриці. Попередня оцінка була підтверджена методом фазового рентгеноструктурного аналізу.

На рис. 3.3 показані зображення, отримані на растровому мікроскопі, поверхні сталей Р6М5, Р9 та Р18. Структура сталей складається з мартенситу та карбідів. Частки карбідів рівномірно розподілені в матриці та близькі до правильної сферичної форми. У структурі швидкорізальних сталей Р6М5 та Р9 спостерігаються два типи карбідів: світлі та сірі карбіди (рисунок 3.3 а, б, г). На структурі сталі Р18 присутні лише світлі карбіди (рисунок 3.3 в). На рис. 3.3 г показана мікроструктура сталі Р6М5, отримана за допомогою напівпровідникового детектора на розсіяних електронах, що дають картини поверхні з відображенням хімічного контрасту з високою просторовою роздільною здатністю. З цього зображення добре видно сірі карбіди. Таким чином, можна встановити, що після стандартної термічної обробки в структурі сталей Р6М5 і Р9 є два типи карбідів: дуже яскраві кольори карбідів (світлі карбіди), що містять елементи вище атомного числа і сірі

карбіди, що містять елементи нижче атомного числа, а в структурі сталі Р18 присутні тільки світлі карбіди.

Оцінювалася об'ємна частка кожної фракції. Також визначено розміри карбідних частинок у досліджуваних сталях. Результати кількісних параметрів структури сталей показані у таблиці 3.2.

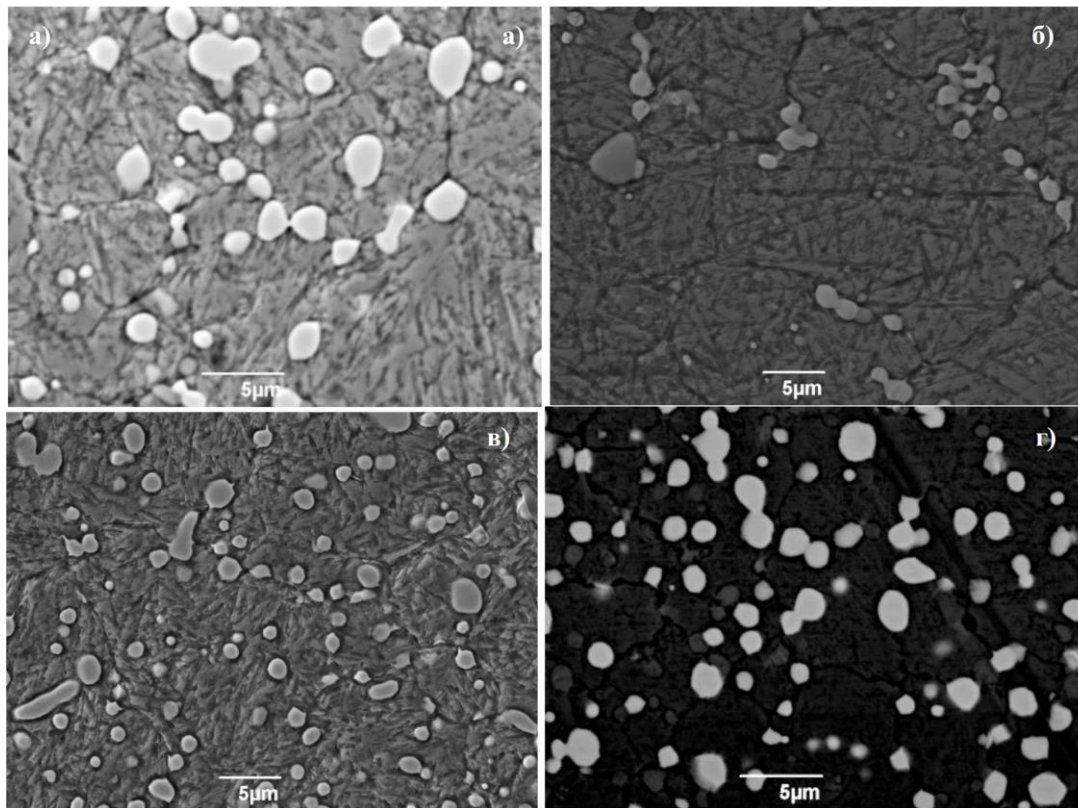


Рисунок 3.3 – Мікроструктури швидкорізальних сталей Р6М5 (а, г), Р9 (б), Р18 (в).

Таблиця 3.2 – Кількісні параметри структури швидкорізальних сталей

№	Сталь	Карбіди	Об'ємна доля	Середній розмір, мкм
1	Р6М5	Світлі карбіди	10,4±0,6%	2,1
		Темні карбіди	2,3±0,4%	0,8
2	Р9	Світлі карбіди	3,1±0,6%	1,6
		Темні карбіди	1,7±0,4%	1,8
3	Р18	Світлі карбіди	13,4±0,6%	1,9

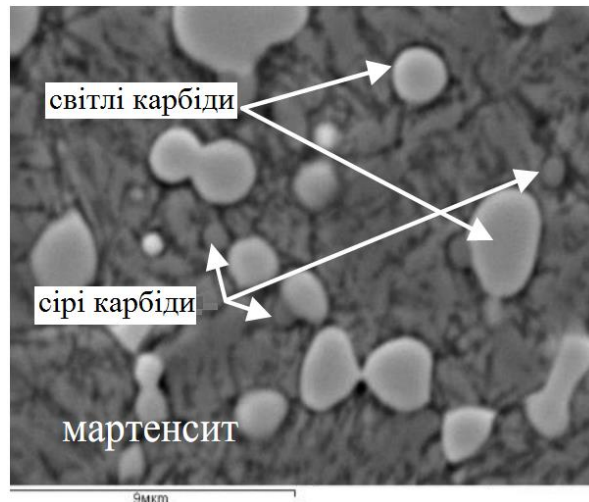


Рисунок 3.4 – Мікроструктура швидкорізальної сталі P6M5

3.2 Дослідження впливу іонного азотування на мікроструктуру швидкорізальних сталей

В результаті проведених досліджень було виявлено, що час ізотермічної витримки процесу іонного азотування значно впливає на глибину модифікованого шару сталі P6M5. Результати вимірювання мікротвердості представлені на рисунку 4.5. З графіка видно, що мікротвердість сталі поблизу поверхні досягає 17 ГПа для зразків, азотованих при витримках 8 і 16 годин. Мікротвердість зразка, що не зазнавав азотування, практично не змінюється при віддаленні від краю і становить 8-9 ГПа, що відповідає мікротвердості даної сталі після гартування та відпуску.

Дифузія азоту в глибину сталі при іонному азотуванні інтенсифікується за рахунок трьох процесів: активації газової фази, збільшення ступеня адсорбції та коефіцієнта дифузії. Позитивні іони азоту в електростатичному полі тліючого розряду набувають швидкість, спрямовані по нормалі до поверхні деталі. Енергія іона у 3000 разів перевищує його енергію при пічному азотуванні [50]. У приповерхневому шарі товщиною до 50 мкм відбуваються складні фізико-хімічні процеси, що призводять до підвищення густини дислокацій.

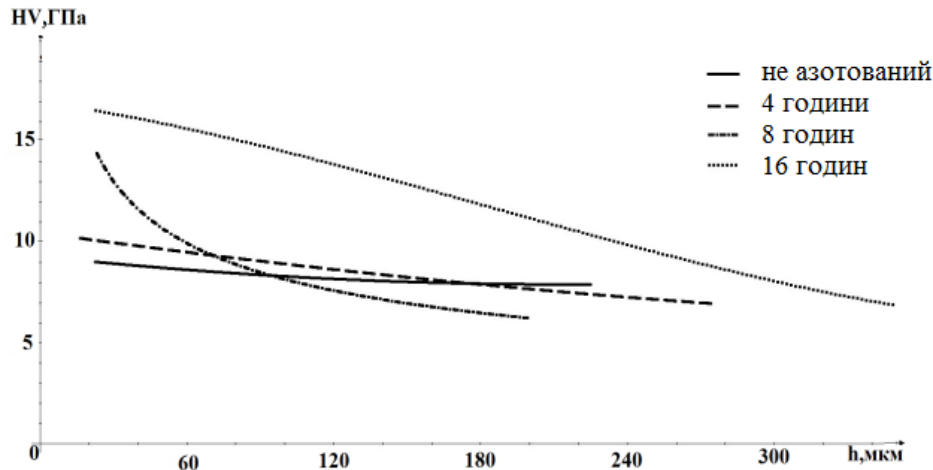


Рисунок 3.5 – Розподіл мікротвердості за перерізом шліфа азотованої сталі Р6М5

Для зразка азотованого при витримці 4 год мікротвердість збільшується поблизу поверхні до 10-11 ГПа, а глибина азотованого шару, що має мікротвердість 9-10 ГПа, становить 20-40 мкм, швидкість дифузії азоту становить близько 5 мкм/год. Зниження мікротвердості відбувається плавно, що свідчить про незначну дифузію атомів азоту на глибину кількох десятків мікрометрів. Низьку твердість поверхні при іонному азотуванні протягом 4 год можна пояснити незначною швидкістю утворення нітридів у напруженому приповерхневому шарі сталі, отриманому при гартуванні. Незважаючи на те, що за літературними даними [15] формування шару при іонному азотуванні завершується за короткий час, висока дефектність поверхні може перешкоджати проникненню азоту вглиб зразка та утворенню нітридної фази. При азотуванні протягом 8 годин спостерігається збільшення мікротвердості практично вдвічі (до 14-15 гПа) на глибині до 20 мкм від поверхні і різкіший її спад углиб зразка. Глибина азотованого шару (з мікротвердістю 8-10 ГПа) становить 60-80 мкм, що говорить про збільшення швидкості дифузії азоту до 10 мкм/год. При даній тривалості витримки, ймовірно, відбувається відпуск поверхневого шару, що призводить до збільшення швидкості дифузії азоту вглиб зразка та утворення твердої ϵ -фази

(Fe_xN), тобто нітриду змінного складу з гексагональною щільноупакованою решіткою металевих атомів [20, 50].

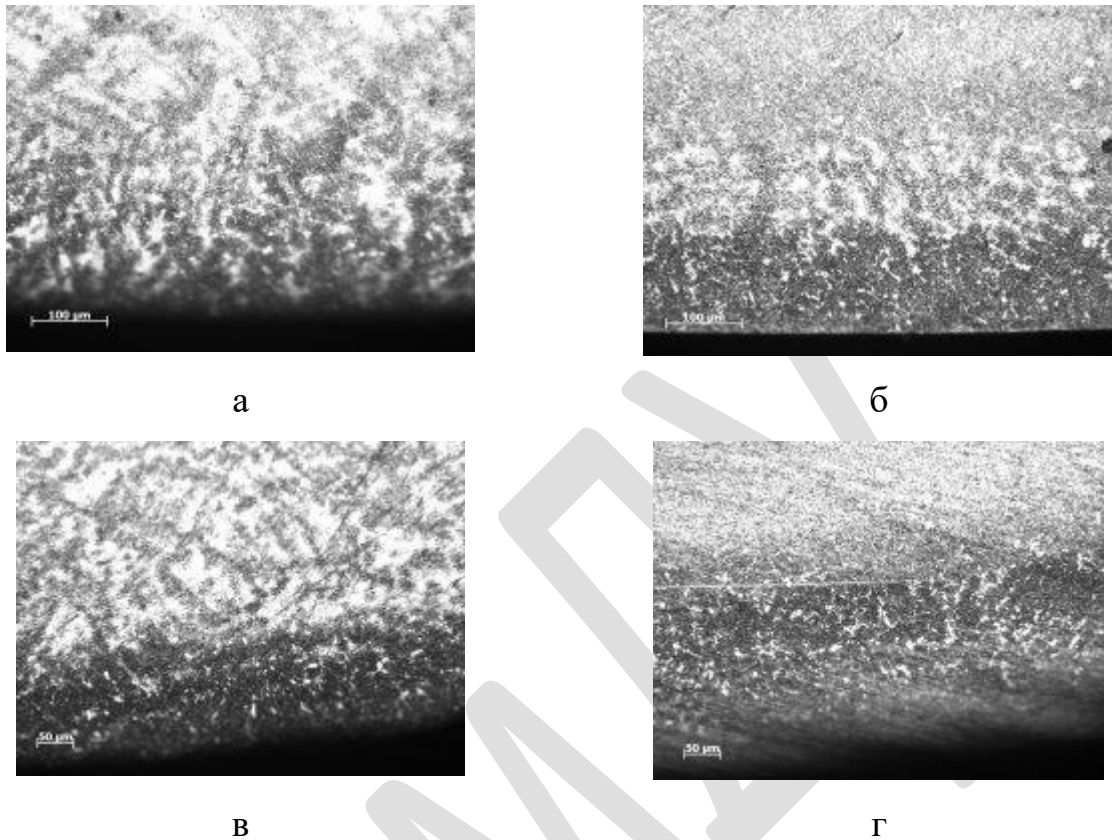


Рисунок 3.6 – Структури сталі зразків Р6М5 з певною тривалістю азотування (після травлення, збільшення 200 разів: а – не азотований; б – азотування 4 год; в – азотування 8 год; г – азотування 16 год

Висновки

Досліджений структурний стан швидкорізальної сталі після термічної обробки, тобто після гартування та триразового відпуску. Мікроструктури сталей Р6М5, Р9 та Р18 складаються з мартенситу відпуску та спеціальних карбідів. Наявність залишкового аустеніту у матриці не спостерігалось. Частки карбідів рівномірно розподілені в матриці та близькі до правильної сферичної форми. Оцінювалася об'ємна частка кожної фракції. Також визначено розміри карбідних частинок у досліджуваних сталях.

Наведено оцінку мікротвердості модифікованого шару сталі Р6М5,

азотованої при 500 °С та різної тривалості ізотермічної витримки. При часі азотування 4 години мікротвердість незначно відрізняються від мікротвердості неазотованого зразка і становить близько 10 ГПа. Швидкість дифузії азоту становить 5 мкм/год, а глибина азотованого шару 20-40 мкм. При 8 годинах азотування мікротвердість приповерхневого шару значно збільшується і досягає 15 ГПа, що пояснюється утворенням ϵ -фази. При 16 годин азотування мікротвердість досягає 17 ГПа. Швидкість дифузії дорівнює 15 мкм/год, а глибина азотованого шару становила 200-250 мкм. Азотований шар на травленому шліфі має більш темне забарвлення, імовірно внаслідок зниження корозійної стійкості азотованого матеріалу.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Економічна ефективність науково-дослідних робіт

Забезпечення ефективності науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт є частиною загального завдання підвищення ефективності суспільного виробництва. Результати досліджень та розробок визначають основні напрями науково-технічного прогресу в окремих галузях та по народному господарству в цілому.

Зміст та значимість окремих досліджень та розробок можуть бути дуже різними. Однак будь-яке дослідження та кожна розробка мають бути націлені на отримання позитивного народногосподарського ефекту, що може характеризуватись сукупністю показників, що відображають актуальність, науковий рівень, економічну ефективність, можливі галузі використання результатів, соціальні та економічні наслідки від впровадження тощо [65].

При всій різноманітності названих показників слід зазначити, що економічна ефективність належить до найважливіших узагальнюючих показників, що дозволяють тією чи іншою мірою врахувати різні наслідки, пов'язані з виконанням наукового дослідження. Якщо, наприклад, науково-дослідницька робота виконано на високому науковому рівні, то її результат, як правило, має міжгалузеве значення і відповідно широку сферу застосування, а як наслідок – великий економічний ефект.

При розробці питань оцінки економічної ефективності наукових досліджень і розробок важливо забезпечити єдність методичного підходу для всіх видів досліджень і розробок і на всіх стадіях їх виконання. Основою такого підходу є загальні положення щодо економічного порівняння варіантів з використанням показників наведених витрат.

4.2 Особливості визначення економічної ефективності науково-дослідних робіт

Під економічною ефективністю наукових досліджень прийнято розуміти зниження витрат громадської та живої праці на виробництві продукції галузі, де впроваджують закінчені науково-дослідні роботи та дослідно-конструкторські розробки (НДР і ДКР).

До основних видів ефективності наукових досліджень відносять [66]:

- економічна ефективність - зростання національного доходу, підвищення продуктивності праці, якості продукції, зниження витрат на наукові дослідження;
- зміцнення обороноздатності країни;
- соціально-економічна ефективність - ліквідація важкої праці, поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці, очищення довкілля тощо;
- престиж вітчизняної науки.

Ефективність роботи наукового працівника оцінюють різними критеріями: публікаційним, економічним, новизною розробок, цитованістю робіт та ін.

Публікаційним критерієм характеризують загальну діяльність – сумарна кількість друкованих праць, загальний обсяг їх у друкованих аркушах, кількість монографій, підручників, навчальних посібників. Цей критерій який завжди об'єктивно характеризує ефективність наукового працівника.

Можуть бути випадки, коли при меншій кількості друкованих праць віддача значно більша, ніж від більшої кількості дрібних друкованих праць. Економічну оцінку роботи окремого наукового працівника застосовують нечасто.

Найчастіше як економічний критерій використовують показник продуктивності праці наукового працівника.

Критерій новизни НДР – це кількість авторських свідоцтв та патентів. Критерій цитованості робіт вченого є число посилань на його друковані роботи. Це другорядний критерій.

Ефективність роботи науково-дослідної групи чи організації оцінюють кількома критеріями:

- середньорічним виробленням НДР,
- кількістю впроваджених тем,
- економічною ефективністю від застосування НДР та ДКР,
- загальним економічним ефектом,
- кількістю отриманих авторських свідоцтв та патентів, кількістю проданих ліцензій чи валютної виручкою.

Розрізняють три види економічного ефекту:

- попередній,
- очікуваний,
- фактичний.

Попередній економічний ефект встановлюється при обґрунтуванні теми наукового дослідження та включенні її до плану робіт. Розраховують його за орієнтовними, укрупненими показниками з урахуванням прогнозованого обсягу запровадження результатів досліджень у групу підприємств цієї галузі.

Очікуваний економічний ефект обчислюють у процесі виконання НДР. Його умовно відносять (прогнозують) до певного періоду (року) впровадження продукції у виробництво.

Очікувана економія – точніший економічний критерій порівняно з попередньою економією, хоча в деяких випадках вона є також орієнтовним показником, оскільки обсяг впровадження можна визначити лише орієнтовно. Очікуваний ефект обчислюють не лише на один рік, а й на триваліший період (інтегральний результат). Орієнтовно такий період становить до 10 років від початку впровадження нових матеріалів і до 5 років для конструкцій, приладів,

технологічних процесів. Фактичний економічний ефект визначається після впровадження наукових розробок у виробництво, але не раніше ніж через рік.

Його розрахунок проводять за фактичними витратами на наукові дослідження та впровадження з урахуванням конкретних вартісних показників цієї галузі (підприємства), де впроваджено наукові розробки. Фактична економія майже завжди дещо нижча від очікуваної:

- очікувану визначають НДІ орієнтовно (іноді з завищенням),
- фактичну на підприємства, у яких здійснюється впровадження.

Висновок

До експериментальних робіт, які виконуються студентами при виконанні кваліфікаційної роботи, за яким повинен розраховуватися економічний ефект, відносять роботи, безпосередньо спрямовані на створення нових технологічних процесів термічної обробки, нових механізмів, засобів автоматизації, приладів, устаткування, на поліпшення якості продукції, а також дослідження у галузі матеріалознавства, які мають теоретичний характер, але можуть бути використані для вдосконалення матеріального виробництва.

Оцінка економічної ефективності результатів кваліфікаційної роботи магістра виконується для виявлення доцільності їх упровадження. Економічний ефект визначається за різницею зведених витрат початкового (базового) рівня і рівня, що досягається після впровадження у виробництво результатів роботи.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

5.1 Загальні правила з охорони праці і техніки безпеки при термічній обробці

Охорона праці включає систему законодавчих актів, соціально-економічних, технічних, гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я та працездатність людини в процесі праці. Техніка безпеки та виробнича санітарія – це система організаційних заходів та технічних засобів, що запобігають впливу на працюючого небезпечних та шкідливих виробничих факторів [67]. До небезпечних належать фактори, які призводять до травми або раптового різкого погіршення здоров'я працюючого. На відміну від них шкідливі виробничі фактори призводять до захворювання чи зниження працездатності працюючого.

Шкідливі виробничі фактори, що виникають при термічній та хіміко-термічній обробці небезпечні та шкідливі, поділяються на фізичні, хімічні та психофізіологічні [68]. До фізичних факторів відносяться: підвищена температура повітря робочої зони, підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони, підвищена або знижена вологість і рухливість повітря, небезпечний рівень напруги в електроланцюзі, підвищений рівень електромагнітного випромінювання, шуму або вібрації на робочому місці, машини та механізми, що рухаються, вироби та матеріали, що переміщуються.

До хімічних факторів відносяться загальнотоксичні, дратівливі, канцерогенні.

Психофізіологічні фактори включають фізичні та нервово-психологічні навантаження.

З перелічених фізичних чинників перших чотири впливають формування метеорологічних умов у робочій зоні й у цеху загалом. Робочою зоною слід вважати простір заввишки до двох метрів над рівнем підлоги або майданчика, на якому знаходяться робочі місця. Якщо обслуговування процесів виробництва здійснюється у різних місцях робочої зони, постійним робочим місцем є вся робоча зона.

Склад і температура атмосфери термічного цеху значною мірою залежить від видів застосовуваних технологічних процесів, типів устаткування. Важливе значення має справність та належний режим роботи загальної та місцевої вентиляційних систем, а також необхідна аерація цеху.

Теплове випромінювання. Оскільки в термічних цехах основним видом обладнання є нагрівальні печі та пристрої (установки індукційного нагріву, газополум'яні установки), то і температурні умови в цеху та на робочих місцях залежать від їх типу, особливостей конструкції та дотримання умов нормальної експлуатації. Виділення тепла в атмосферу цеху відбувається при конвекції та промені (радіації). Від нагрітих стінок та своду, а також від деталей, що мають температуру нижче 600°C , тепло поширюється конвекцією. Через відкриті завантажувально-розвантажувальні вікна нагрітих печей, від дзеркала печей ванн, від деталей, вивантажених із печей з температурою понад 700°C , тепло поширюється в цех променевипусканням. Кількість тепла, що передається випромінюванням, пропорційно четвертого ступеня температури, тому при збільшенні температури випромінюючого тіла нагрівання променевипусканням різко зростає.

Тепловий потік, що передається променевипусканням через відкриті вікна печей або від дзеркала печей-ванн, поширюється спрямовано пучком променів, що розходиться. Тому інтенсивність нагріву залежить від того, під яким кутом до джерела випромінювання і якій відстані від нього перебуває робітник.

Кількість тепла, що передається від печі, нагрітої до температури 900°C через відкрите вікно на відстані 1 м по осі потоку, досягає $1-8 \text{ кДж/м}^2\text{с}$. Відповідно до [69] інтенсивність опромінення на робочих місцях не повинна перевищувати $0,35 \text{ кДж/м}^2\text{с}$.

Нагрів атмосфери цеху променевипусканням може відбуватися внаслідок несправності печей, через щілини, а також при різних порушеннях правил експлуатації обладнання, наприклад при роботі на печах-ваннах з відкритими кришками.

Нагрів атмосфери цеху внаслідок передачі тепла від стін печі конвекцією повністю усунути неможливо, але його необхідно звести до необхідного мінімуму.

Втрати тепла через стінки та склепіння печі можна суттєво знизити, застосовуючи теплоізоляційний шар достатньої товщини. Однак при цьому потрібно мати на увазі, що теплоізоляційні матеріали можуть витримувати нагрівання тільки до певної температури, що вимагає створення внутрішньої вогнетривкої кладки певної товщини. У цьому збільшуються габаритні розміри печі. Крім того, зростають втрати тепла на акумуляцію кладки. Тому в якості вихідних даних при конструюванні та тепловому розрахунку печі приймають допустиму температуру зовнішньої поверхні стінки печі (кожуха) та робочу температуру її внутрішньої стінки. Істотний вплив на температуру цеху надають оброблювані деталі, які після нагрівання в печі вивантажуються для проведення наступних операцій, наприклад гартування, охолодження до внутрішньоцехової температури при нормалізації, після відпуску та ін. вентиляцією або у спеціально обладнаних приміщеннях.

Пило- та газовиділення. За умовами роботи термічного цеху у ньому неминує відбувається виділення пилу та газів. Атмосферне повітря зазвичай містить близько 78% азоту, 21% кисню, 0,9% інертних газів, 0,08% вуглекислого газу та незначну кількість інших домішок [70]. У атмосфері такого складу забезпечується нормальна життєдіяльність людського

організму. Зміна складу атмосфери понад допущені межі порушує роботу органів дихання. При збільшенні вмісту азоту до 83% відчувається задуха, оскільки вміст кисню знижується. Перебування в атмосфері, що містить менше ніж 10% кисню, призводить до небезпечного для життя кисневого голодування. Зниження концентрації вуглекислого газу в атмосфері не є небезпечним для життя людини, оскільки нормальний парціальний тиск вуглекислого газу в крові забезпечується за рахунок утворення його в процесі життєдіяльності організму. Але збільшення вмісту цього газу в атмосфері викликає сильну реакцію організму - частішає дихання, дратуються слизові оболонки, з'являється кашель, проявляється його наркотична та токсична дія.

Зміни у складі атмосфери термічного цеху можуть викликатися вибиванням продуктів горіння палива через відкриті вікна, щілини та нещільності печі, випаровуванням від розплавлених солей печей-ванн, витоком газів із печей для хіміко-термічної обробки, а також із печей із захисною атмосферою, випаровуванням виділенням продуктів його згорання з загартованих масляних баків, виділенням газів, що утворюються при згорянні різних забруднень, неминуче наявних на поверхні виробів, що нагріваються, наприклад, при нагріванні СВЧ, при відпуску. Деякі з газів, що утворюються, є дуже токсичними, наприклад ціаністий водень, інші мають подразнюючу дію на дихальні шляхи, наприклад аміак. Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин (ГДК) у повітрі робочої зони обумовлені [71].

Запилення атмосфери цеху частинками твердих матеріалів, присутніх в атмосфері у вигляді аерозолів, відбувається різними шляхами: внесенням частинок пилу разом з повітрям, що надходить в цех завдяки аерації, застосуванням в цеху сипких і легко, матеріалів, що подрібнюються, як вогнетривки, теплоізоляційні матеріали забруднення на поверхні деталей, що надходять у цех на обробку, застосуванням різноманітних технологічних

матеріалів, таких як карбюратор, солі, пісок. Деякі з цих речовин, присутні у повітрі у вигляді аерозолів, також є шкідливими.

Шуми, вібрації, ультразвук. У термічних цехах робота вентиляторів, пальників, штовхачів, дробометних та гідропіскоструминних установок для очищення від окалини супроводжується виникненням шуму, вібрацій або ультразвуку. Постійний вплив цих факторів шкідливо впливає на здоров'я працюючих. Шум викликає передчасну стомлюваність, негативно впливає нервову систему і, як наслідок, підвищує ймовірність травматизму. Тривалий вплив вібрації призводить до стійких порушень фізіологічних функцій організму: порушення кровообігу під впливом спазмів судин, втрати чутливості шкіри, зменшення рухливості суглобів.

Шум, вібрація та ультразвук є наслідком механічних коливань, які передаються від джерела коливань через навколишнє середовище - газове (повітряне), рідке або тверде. Коливання можуть передаватися також безпосередньо, коли людина приходить в контакт з тілом, що вагається. Людське вухо сприймає коливання як звук, якщо їх частота знаходиться в межах від 16 до 20000 Гц. Коливання із частотою від часток герца до 12 Гц сприймаються людиною як окремі поштовхи. Коливання з більш високою частотою, що сприймаються безпосередньо людським тілом, відносяться до вібрацій. Серйозну небезпеку становлять вібраційні коливання з частотою 6-9 Гц, сприймані безпосередньо людиною, оскільки найбільші внутрішні органи мають частоту власних коливань у цих межах і при настанні резонансу можуть статися небезпечні порушення їх функцій.

У виробничих умовах шуми сприймаються людським вухом через повітряне середовище у вигляді звуків різної сили та тону (висоти). Допустимі рівні шуму на робочих місцях та загальні вимоги щодо захисту від шуму передбачені [72].

Електромагнітні випромінювання. У термічних цехах електромагнітні випромінювання виникають внаслідок використання струмів

високої частоти нагрівання. Негативний вплив електромагнітних полів на організм людини суттєво проявляється при високих та надвисоких частотах. При нагріванні струмами високої частоти для термічної обробки частоти змінного електромагнітного поля, що застосовуються, не перевищують 10 МГц.

Кількісна оцінка небезпеки електромагнітного випромінювання проводиться за напруженістю електричної та магнітної складової поля. Відповідно до [73] напруженість електромагнітного поля протягом робочого дня на робочих місцях не повинна перевищувати встановлені гранично допустимі рівні (ГДР): за електричною складовою - 50 В/м для частот від 60 кГц до 30 МГц; за магнітною складовою - 5 А/м для частот від 60 кГц до 1,5 МГц.

5.2 Охорона довкілля.

У термічних ділянках виробничі процеси супроводжуються виділенням великої кількості теплоти, пилу, пари та газів та забрудненням стічних вод, зазначені виділення з точки зору охорони навколишнього середовища неприпустимі. Тепловиділення відбуваються під час роботи печей, ванн та інших нагрівальних агрегатів. Виділення відбувається у процесі нагрівання виробів у соляних ваннах, при промиванні у гарячих розчинах тощо.

Стічні води забруднюються солями, миючими розчинами тощо. Для зменшення та повної ліквідації забруднення повітряного басейну та стічних вод слід передбачати:

- заміну сухих способів очищення мокрими;
- застосування пальників, що забезпечують повне спалювання окису вуглецю;
- автоматичну сигналізацію про перебіг операцій, пов'язаних із можливістю виділення шкідливих речовин;
- герметизацію обладнання та апаратури;

- повне уловлювання та герметизацію шкідливих речовин;
- очисні споруди з нейтралізації та повного очищення стічних вод.

Контроль за викидами шкідливих речовин в атмосферне повітря населених місць ведеться відповідно до вимог Закону України "Про охорону атмосферного повітря", ДСП 201-97 "Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами)", ГОСТ 17.1.5.02-80 Охорона природи. Гідросфера. Гігієнічні вимоги до зон рекреації водних об'єктів, наказу Міністерства охорони здоров'я України від 17 березня 2011 року № 145 "Про затвердження Державних санітарних норм та правил утримання територій населених місць", зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 05 квітня 2011 року за № 457/19195.

Технологічні процеси, пов'язані з транспортуванням продукції, необхідно здійснювати відповідно до НПАОП 0.00-1.75-15 «Правила охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт».

Контроль параметрів повітря робочої зони на вміст шкідливих речовин та пилу ведеться відповідно до вимог ГОСТ 12.1.005-88 «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони». Під час проведення технологічних процесів, пов'язаних із застосуванням шкідливих речовин 1 та 2 класів небезпеки, повинна бути виключена можливість контакту працівників із цими речовинами.

Висновки

Охорона праці включає систему законодавчих актів, соціально-економічних, технічних, гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я та працездатність людини в процесі праці. Техніка безпеки та виробнича санітарія – це система організаційних заходів та технічних засобів, що запобігають впливу на працюючого небезпечних та шкідливих виробничих факторів. До

небезпечних належать фактори, які призводять до травми або раптового різкого погіршення здоров'я працюючого. Шкідливі виробничі фактори, що виникають при термічній та хіміко-термічній обробці небезпечні та шкідливі, поділяються на фізичні, хімічні та психофізіологічні.

Склад і температура атмосфери термічного цеху значною мірою залежить від видів застосовуваних технологічних процесів, типів устаткування. Важливе значення має справність та належний режим роботи загальної та місцевої вентиляційних систем, а також необхідна аерація цеху.

У термічних ділянках виробничі процеси супроводжуються виділенням великої кількості теплоти, пилу, пари та газів та забрудненням стічних вод, зазначені виділення з точки зору охорони навколишнього середовища неприпустимі. Тепловиділення відбуваються під час роботи печей, ванн та інших нагрівальних агрегатів. Виділення відбувається у процесі нагрівання виробів у соляних ваннах, при промиванні у гарячих розчинах тощо.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз методів підвищення зносостійкості швидкорізальних сталей. Показано, що азотування є найбільш ефективним методом хіміко-термічної обробки, яке забезпечує високий комплекс експлуатаційних властивостей різальних інструментів, що обробляються, з швидкорізальних сталей: твердість, зносостійкість, протизадирні властивості, теплостійкість, корозійну стійкість, втомну міцність.

2. Обрано матеріали та методи дослідження. Представлене обґрунтування матеріалів для дослідження. Це сталь Р6М5. Основними легувальними елементами в сталі є вольфрам і молібден, що забезпечують теплостійкість (600-700°C). Вуглець в сталі (біля 1%) забезпечує високу твердість в загартованому та відпущеному стані. Основна роль хрому в швидкорізальних сталях – надання сталі високої прогартованості. Він впливає і на карбідоутворення при відпуску. Карбідоутворюючі елементи, які містяться в сталі, утворюють спеціальні карбіди: Me_6C на основі вольфраму та молібдену, MeC на основі ванадію та $Me_{23}C_6$ на основі хрому. Частина атомів металу у зазначених карбідах становлять залізо та інші елементи.

3. Експериментально досліджений структурний стан швидкорізальних сталей після термічної обробки – гартування та триразового відпуску. Мікроструктури сталей складаються з мартенситу відпуску та спеціальних карбідів. Наявність залишкового аустеніту у матриці не спостерігалось. Частки карбідів рівномірно розподілені в матриці та близькі до правильної сферичної форми.

4. Досліджено мікроструктуру та мікротвердість азотованого шару після азотування при 500 °C та різної тривалості ізотермічної витримки. При часі азотування 4 години мікротвердість незначно відрізняється від мікротвердості неазотованого зразка і становить близько 10 ГПа. Швидкість дифузії азоту становить 5 мкм/год, а глибина азотованого шару 20-40 мкм.

При 8 годинах азотування мікротвердість приповерхневого шару значно збільшується і досягає 15 ГПа, що пояснюється утворенням ϵ -фази. При 16 годин азотування мікротвердість досягає 17 ГПа. Швидкість дифузії дорівнює 15 мкм/год, а глибина азотованого шару становила 200-250 мкм. Азотований шар на травленому шліфі має більш темне забарвлення, імовірно внаслідок зниження корозійної стійкості азотованого матеріалу.

5. Проведена оцінка економічної ефективності науково-дослідних робіт. Оцінка економічної ефективності результатів кваліфікаційної роботи магістра виконується для виявлення доцільності їх упровадження. Економічний ефект визначається за різницею зведених витрат початкового (базового) рівня і рівня, що досягається після впровадження у виробництво результатів роботи.

6. Представлений аналіз небезпечних факторів, що виникають на термічній ділянці. До небезпечних належать фактори, які призводять до травми або раптового різкого погіршення здоров'я працюючого. Шкідливі виробничі фактори, що виникають при термічній та хіміко-термічній обробці небезпечні та шкідливі, поділяються на фізичні, хімічні та психофізіологічні.

7. Проведена оцінка впливу термічної та хіміко-термічної обробки на забрудненість довкілля. У термічних ділянках виробничі процеси супроводжуються виділенням великої кількості теплоти, пилу, пари та газів та забрудненням стічних вод, зазначені виділення з точки зору охорони навколишнього середовища неприпустимі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кремнев Л.С. Заэвтектоидные быстрорежущие стали. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1985. № 8. С. 24-25.
2. Григорьев С.Н., Табаков В.П., Волосова М.А. Технологические методы повышения износостойкости контактных площадок режущего инструмента. Старый Оскол: ТНТ, 2011. 380 с.
3. Гурьев А. М., Власова О. А., Лыгденов Б. Д. и др. Повышение прочности инструментальных сталей методом термоциклического борирования. *XVII Петербургские чтения по проблемам прочности*. Санкт-Петербург, 10-12 апреля 2007 г.: сборник материалов. Ч. 1.- СПб., 2007.- С. 196 – 198.
4. Гурьев А. М., Козлов Э. В., Попова Н. А. и др. Изменение фазового состава и механизм формирования структуры переходной зоны при термоциклическом борировании ферритно-перлитной стали. *Изв. Вузов. Физика*. 2001. № 2. С.58-63.
5. Пат. 2345175, МПК Способ упрочнения деталей из конструкционных и инструментальных сталей / А. М. Гурьев, С. Г. Иванов, Б. Д. Лыгденов, С. А. Земляков, О. А. Власова, Е. А. Кошелева, М. А. Гурьев. № 2007112368/02; заявл.03.04.07; опубл. 27.01.09, Бюл. № 3. 9 с.
6. Зубцов М.Е., Корсаков В.Д. Стойкость штампов. Л.: Машиностроение, 1971. 200 с.
7. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента / Т.Н. Лоладзе. М.: Машиностроение, 1982. 320 с.
8. Азотирование и карбонитрирование. Чаттерджи-Фишер Р. и др. Пер. с нем. / под ред. А.В. Супова. М.: Металлургия, 1990. 280 с.
9. Лахтин Ю.М., Неустроев Г.Н., Иванов Ю.П. Низкотемпературное цианирование инструментальных сталей. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1973. №12. С. 27-31.

10. Новиков, И. И. Теория термической обработки металлов. М.: Металлургия, 1986. 480 с.
11. Минкевич А.Н., Сучевяну Г. Химико-термическая обработка сталей в смесях солей, содержащих мочевины. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1968. №10. С. 11-16.
12. Технологический процесс поверхностного упрочнения режущего инструмента. *Информационный листок ВИМИ*. №75. 0857. 1975. Серия 10-09.
13. Неустроев Г.П., Богданов В.В., Иванов Ю.П. Низкотемпературное цианирование инструментальных сталей. Прогрессивные методы термической и химико-термической обработки. М.: Машиностроение. 1972. с. 89-91.
14. *Металловедение и технология металлов*. Под ред. Ю.П. Солнцева. М.: Металлургия. 1988. 491 с.
15. Лахтин Ю.М. Газовое азотирование деталей машин и инструмента / Ю.М. Лахтин, Я.Д. Коган. М.: Машиностроение, 1982. 60 с.
16. Любін М. В., Токарчук О. А. Вплив хіміко-термічної обробки інструменту на процес виготовлення метричних різей у важкооброблюваних сталях. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2019. № 1 (92). С. 48-55.
17. Прженосил Б. Нитроцементация. -Д.: Машиностроение, 1969. 212 с.
18. Астафьев А.А. Некоторые закономерности водородного охрупчивания конструкционных сталей. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1997. №2. С. 5 -8.
19. Рахштадт А.Г. *Металловедение и термическая обработка стали и чугуна* Текст. : справочник, в 3 т. Т. 2 / Л. М. Бернштейн, Г. В. Курдюмов, В. С. Меськин [и др.]. М.: Интермет Инжиниринг, 2005. 528 с.
20. Арзамасов Б.Н., Братухин А.Г., Елисеев Ю.С, Панайоти Т.А. Ионная химико-термическая обработка сплавов. М.: Изд-во МВТУ им Баумана, 1999. 400 с.

21. Арзамасов Б.Н., Братухин А.Г., Елисеев Ю.С, Панайоти Т.А. Ионная химико-термическая обработка сплавов. М.: Изд-во МВТУ им Баумана, 1999. 400 с.
22. Лахтин Ю. М., Арзамасов Б. Н. Химико-термическая обработка металлов: Учеб. пособие для вузов по спец. "Металловедение, оборуд. и технология терм, обраб. металлов. М.: Metallurgy, 1985. 256 с.
23. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д., Шпис Г-Й., Бемер З. Теория и технология азотирования. М.: Metallurgy, 1991. 320 с.
24. Петрова Л.Г. Высокотемпературное азотирование жаропрочных сплавов. *МиТОМ*. 2004. №1. С.18-24.
25. Петрова Л.Г. Внутреннее азотирование жаропрочных сталей и сплавов. *МиТОМ*. 2001. №1. С.10-17.
26. Будилов В.В., Агзамов Р.Д., Рамазанов К.Н. Способ поверхностного упрочнения деталей. Патент на изобретение № 2275433, МПК 7, С21D1/09, С21D1/38 от 16.11.2004. 3 с.
27. Будилов В.В., Агзамов Р.Д., Рамазанов К.Н. Способ азотирования изделий в тлеющем разряде с эффектом полого катода. Патент на изобретение № 2276201, МПК 7, С23С8/36, С23С8/80 от 09.11.2004. 3 с.
28. Рамазанов К.Н., Будилов В.В., Вафин Р.К. Азотирование быстрорежущей стали Р6М5 в тлеющем разряде с наложением магнитного поля. *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2010. № 5. С. 39-42.
29. Будилов В.В., Агзамов Р.Д., Рамазанов К.Н. Технология ионного азотирования в тлеющем разряде с полым катодом. *МиТОМ*. 2007. №7. С. 25-29.
30. Томилов А.П. Электрохимия органических соединений / А.П. Томилов. М.: Изд-во «Химия», 1968. 115 с.
31. Лахтин Ю.М. Современное состояние процесса азотирования. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1993.-JV27. С. 6-11.

32. Саблев Л.П., Андреев А.А., Кунченко В.В. Плазменное азотирование режущего инструмента из быстрорежущей стали. *Труды симп. ОТТОМ*, г. Харьков, 2000, с. 133. 137.

33. Верещака, А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями / А.С. Верещака. М.: Машиностроение, 1993. 330 с.

34. Чекалова, Е.А. Интенсификация обработки: учебное пособие / Е.А. Чекалова. М.: Изд-во ГОУ ВПО МГТУ «Станкин», 2007. 127 п.с. Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ) в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений.

35. Горелов В.А. Термомеханический анализ обработки резанием жаропрочных сплавов / В.А. Горелов. *Омский научный вестник*, 2006. №10. С. 24-28.

36. Верещака А.С. Повышение работоспособности режущих инструментов нанесением износостойких покрытий: дис. д-ра тех. наук: 05.03.01/ Верещака Анатолий Степанович. М., 1986. 520 с.

37. Григорьев С.Н. Повышение работоспособности инструмента из быстрорежущей стали путем КПО: дис. канд. тех. наук: 05.03.01 / Григорьев Сергей Николаевич. М., 1988. 188 с.

38. Внуков Ю.Н. Нанесение износостойких покрытий на быстрорежущий инструмент / Ю.Н. Внуков. Киев: Изд-во «Техника», 1992. 144 с.

39. Чекалова Е.А. Разработка концепции, оборудование и технология комбинированной ионно-плазменной обработки режущего инструмента / Е.А. Чекалова, А.С. Верещака, Л.Г. Дюбнер. *Сб. трудов научного симпозиума «Интерпартнер – 96» «Высокие технологии в машиностроении»*. Харьков. ХГПУ. 1996. С. 177-186.

40. Чекалова Е.А. Основные аспекты применения совершенствования режущих инструментов с износостойкими покрытиями / Е.А. Чекалова, А.С. Верещака, Ф. Лират, Л. Дюбнер. *Сб. трудов научного симпозиума «Интерпартнер-98» «Высокие технологии в машиностроении»*. Харьков. ГПУ. 1998. С. 21 – 24.

41. Чекалова Е.А. Повышение эффективности сверл из быстрорежущей стали путем комбинированной ионно-плазменной обработки / Е.А. Чекалова, А.С. Верещака. *Сб. трудов научного симпозиума «Интерпартнер – 2000» «Резание и инструмент в технологических системах»*. Харьков. ХГПУ. 2000. С. 250-253.

42. Чекалова Е.А. Азотирование в плазме несамостоятельного газового разряда – метод повышения эффективности инструмента из быстрорежущей стали / Е.А. Чекалова. *Сб. трудов научного симпозиума «Интерпартнер – 2001»*. Харьков. НТУ «ХПИ». 2001. С. 223-227.

43. Касьянов, С.В. Исследование режущих свойств и разработка путей дальнейшего развития инструментов с износостойкими покрытиями: дис. канд. тех. наук: 05.03.01/ Касьянов Станислав Вячеславович. М., 1979. 241 с.

44. Чекалова, Е.А. Разработка методики повышения эффективности сверл из быстрорежущей стали с покрытием / Е.А. Чекалова. *«IV международный конгресс» «Конструкторско-технологическая информатика 2000»*. М.: Изд-во ГОУ ВПО МГТУ «Станкин». 2000. С. 247 – 249.

45. Чекалова, Е.А. Азотирование в плазме несамостоятельного газового разряда – метод улучшения экологии и повышение эффективности инструмента из быстрорежущей стали / Е.А. Чекалова. *Сб. трудов конференции. «Международная научно-практическая конференция 2001»*. М.: Изд-во ГОУ ВПО МГТУ «Станкин». 2001. С. 798 – 802.

46. Позняк Л.А., Тишаев С.И., Скрынченко Ю.М. Инструментальные стали: Справочник. М.: Металлургия, 1977. 167 с.

47. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали. М.: Металлургия, 1985. 408 с.
48. ГОСТ 19265-73. Прутки и полосы из быстрорежущей стали. Технические условия. Межгосударственный стандарт.
49. Анельник, Д.Е. Ремонт, восстановление и испытание инструмента и технологической оснастки: Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. [Текст] / Д.Е. Анельник, С.Н. Полевой, В.Д. Евдокимов. Киев: Техника, 1981. 200 с.
50. Каченюк, М. М. Дослідження впливу різних режимів іонного азотування на формування поверхневого зміцненого шару швидкорізальної сталі Р6М5 / М. Н. Каченюк, А. В. Носков, В. С. Патрушев. - Текст: безпосередній // Молодий учений. - 2016. - № 23 (127). - С. 50-54. - URL: <https://moluch.ru/archive/127/35139/> (дата звернення: 27.11.2022)
51. Установки ионного азотирования ИОН-50, ИОН-100, ИОН-200. URL : <http://www.techhap.ru/proizvoditel/244563.html>
52. Баранова Л.В., Демина Э.Л. Металлографическое травление металлов и сплавов. Справочник. М.: Металлургия, 1986. 256 с.
53. Приборы и методы физического металловедения / под ред. Вейнберга Ф.; пер. с англ. М.: Мир, 1973. Вып. 1. 427 с.
54. Практические вопросы испытания металлов / пер. с нем.: под ред. Елютина О.П. М.: Металлургия, 1979. 280 с.
55. Чернявский К.С. Стереология в металловедении. М.: Металлургия, 1977. 240 с.
56. Григоревич В.К. Твердость и микротвердость металлов. М.: Наука, 1976. 230 с.
57. ГОСТ 9450-76 Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников. Межгосударственный стандарт.
58. Боярская Ю.С., Грабко Д.З., Кац М.С. Физика процессов микроиdentирования. Кишинев: Штииница, 1986. 295 с.

59. Моисеев, В.Ф. Инструментальные материалы. Монография / В.Ф. Моисеев, С.Н. Григорьев. Изд. 2-е. М. :МГТУСтанкин, 2005. 248 с.
60. Счастливец, В.М. Структура термически обработанной стали / В.М. Счастливец, Д.А. Мирзаев, И.Л. Яковлева. М.: Металлургия, 1994. 288 с.
61. Liu ZY, Loh NH, Khor KA, Tor SB. Microstructure evolution during sintering of injection molded M2 high speed steel. *Mater SciEng*. 2000; A293: P. 46–55.
62. Šolić, Sanja; Cajner, Franjo; Leskovšek, Vojteh. Effect of deep cryogenic treatment on mechanical and tribological properties of PM S390 MC high-speed steel. *MP Materials Testing*. 2012/10 (2012); P. 688-693.
63. Skakov M.K., Rakhadilov B.K., Karipbaeva G.S. Specifics of microstructure and phase composition of high-speed steel R6M5. *Applied Mechanics and Materials*. 2013. Vol. 404. P.20-24.
64. Скаков М.К., Рахадиллов Б.К., Карипбаева Г.С., Манапбаева А.Б., Структурно-фазовое состояние быстрорежущей стали Р6М5 после термической обработки. *Вестник КазНУ*. 2014. №1 (48). С. 53-59.
65. С.И. Андросова, Д.А. Фадеев Методические подходы к оценке экономической эффективности деятельности научных организаций. *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки* . № 1(187) 2014. с. 126-132.
66. Виды экономической эффективности научных исследований. URL : https://studwood.net/957781/filosofiya/vidy_ekonomicheskoy_effektivnosti_nauchnyh_issledovaniy
67. НПАОП 28.5-1.02-07 Правила охорони праці при термічній обробці металів.
68. Протоєрейський О. С, Запорожець О. І. Охорона праці в галузі: Навч. посіб. К.: Книжкове вид–во НАУ, 2005. 268 с.

69. ССБТ (ГОСТ 12.3.004-2005). Система стандартів безпеки праці. Термічна обробка металів. Загальні вимоги.

70. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці [Текст] : підручник / В. Ц. Жидецький. 5-те вид., доп. К. : Знання, 2014. 373 с.

71. ССБТ (ГОСТ 12.1.005-2006). Система стандартів безпеки праці.

72. ССБТ (ГОСТ 12.1.003-2003). Система стандартів безпеки праці.

73. ГОСТ 12.1.006-2004. Система стандартів безпеки праці.