

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

Кафедра «Прикладне матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О.П. Гапонова

«__» _____ 2020 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

Тема: «Дослідження структури, властивостей та характеристик вуглецевих інструментальних сталей після хіміко-термічної обробки»

Студент гр. МТ.м-91 _____

Фокін С.О.

Керівник _____

Дегула А.І.

Консультант
з економічної частини _____

Берладір Х.В.

Консультант
з охорони праці _____

Говорун Т.П.

Нормоконтроль _____

Дегула А.І.

Суми 2020

АНОТАЦІЯ

Фокін С.О. Дослідження структури, властивостей та характеристик вуглецевих інструментальних сталей після хіміко-термічної обробки. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота на здобуття кваліфікації магістра зі спеціальності 132 – Матеріалознавство. – Сумський державний університет, Суми, 2020.

Робота присвячена дослідженню впливу режимів технологічного процесу хіміко-термічної обробки на експлуатаційні властивості інструментальних сталей.

За результатами проведених досліджень встановлено вплив комплексної термічної обробки та процесу оксидування на властивості дослідних зразків із інструментальних сталей; встановлено закономірності формування структури матеріалу в залежності від технологічних параметрів процесу термічної обробки.

Підібрано оптимальний склад реагентів та технологічні параметри процесу хімічного оксидування інструментальних вуглецевих та легованих сталей.

Ключові слова: СТРУКТУРА, ТВЕРДІСТЬ, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ЗАХИСНЕ ПОКРИТТЯ, МЕЖА МІЦНОСТІ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, ДИФУЗИЯ, ЛЕГУВАННЯ.

ABSTRACT

Fokin S.O. Investigation of Structure, Properties and Characteristics of Carbon Tool Steels after Chemical-heat Treatment. – The manuscript.

Qualifying paper for obtaining the qualification of master's degree in the specialty 132 – applied materials science. – Sumy State University, Sumy, 2020.

The work is devoted to the study of the influence of the modes of the technological process of chemical-thermal treatment on the operational properties of tool steels.

According to the results of the research, the influence of complex heat treatment and oxidation process on the properties of experimental samples of tool steels was established; regularities of material structure formation depending on technological parameters of heat treatment process are established.

The optimal composition of reagents and technological parameters of the process of chemical oxidation of instrumental carbon and alloy steels are selected.

Key words: STRUCTURE, STRENGTH, HEAT TREATMENT, PROTECTIVE COATING, STRENGTH LIMIT, WEAR RESISTANCE, DIFFUSION, ALLOYING.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра включає 85 сторінок, у тому числі 6 таблиць, 28 рисунків, бібліографії із 50 літературних джерел на 4 сторінках.

Мета роботи – обґрунтування режимів та методів термічної та хіміко-термічної обробки для підвищення експлуатаційних властивостей інструментальних сталей.

Задачі досліджень – провести патентно-літературний аналіз сучасного стану і проблеми підвищення експлуатаційних властивостей інструментальних сталей; дослідити мікроструктуру дослідних зразків і проаналізувати зміни структурно-фазового стану; виконати дослідження механічних властивостей зразків після термічної та хіміко-термічної обробки.

Об'єкт дослідження – процес термічної та хіміко-термічної обробки, зміна структури та механічних властивостей інструментальних сталей.

Предмет дослідження – інструментальні вуглецеві та леговані сталі після ТО та ХТО.

Методи досліджень – експериментальні дані отримані з використанням стандартних методів визначення фізико-механічних властивостей інструментальних сталей і сучасних мікроскопічних та металографічних методів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів. Підтверджено закономірності формування структури та поверхневого шару оксидного покриття, а також механічних властивостей інструментальних сталей, які працюють в умовах тертя-зношування.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1	
ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	11
1.1 Класифікація інструментальних матеріалів.....	11
1.2 Інструментальні сталі	14
1.3 Хіміко-термічна обробка	16
1.4 Огляд публікацій за тематикою досліджень.....	20
1.5 Патентний огляд	22
Висновки	23
РОЗДІЛ 2	
ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	24
2.1 Мікроструктурний аналіз	24
2.2 Вимірювання твердості	28
2.3 Рентгеноструктурний аналіз	33
2.4 Рентгеноспектральний аналіз	38
2.5 Визначення зносостійкості.....	41
Висновки	47
РОЗДІЛ 3	
ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	48
3.1. Об'єкт досліджень.....	48
3.2 Результати мікроструктурного аналізу	50
3.3 Результати вимірювання твердості.....	52
3.4 Результати випробування на зносостійкість.....	54
Висновки	56
РОЗДІЛ 4	
ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	57
4.1 Розрахунок економічної ефективності.....	57
Висновки	61
РОЗДІЛ 5	
ОХОРОНА ПРАЦІ, НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....	62

5.1 Загальні положення.....	62
5.2 Вимоги до обладнання.....	74
5.3 Охорона навколишнього середовища.....	76
Висновки	79
ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	80
СПИСОК ВИКРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	81
Додаток А	

САНД

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

ДМ – дифузійна металізація
ХТО – хіміко-термічна обробка
ТО – термічна обробка
МО – методи осадження
ЗП – зносостійкі покриття
ІМ – інструментальні матеріали
ІС – інструментальні сталі
ЗМ – зносостійкість матеріалів

САНДІ

ВСТУП

Актуальність роботи.

Для кожного типу виробництва (одиночного, серійного) технологія виготовлення інструмента має свої особливості. Однак загальна тенденція розвитку технології на сучасному етапі полягає у створенні гнучких технологічних систем, що забезпечують ефективну обробку як в умовах одиночного, так і серійного виробництва при мінімальних витратах часу на переналадження системи при зміні розмірів або форми інструментів. Впровадженню таких систем сприяє типізація технологічних процесів виготовлення інструментів на базі їх технологічної класифікації. Типізація технологічних процесів, устаткування і оснащення проводиться з урахуванням класу інструмента й діапазону розмірів [1].

Від якості, надійності й працездатності різального інструменту, який застосовується у процесах виготовлення деталей машин і механізмів, значною мірою залежать їх якість і точність, а також продуктивність та ефективність процесу оброблення. Проблемі продуктивності необхідно приділяти особливу увагу, тому що вона в першу чергу впливає на зниження собівартості продукції. Продуктивність процесу різання знаходиться в тісній залежності від стійкості інструменту: зі збільшенням інтенсивності роботи інструменту його стійкість, як правило, знижується. Продуктивність обробки, стійкість і міцність інструменту визначаються багатьма факторами (родом матеріалу різальної частини інструменту; кількістю і довжиною різальних кромки; конструктивними і геометричними елементами різальної частини; стружкозавиванням та стружколоманням; умовами охолодження різальних кромки у процесі різання та багатьма іншими), від яких залежить вибір режимів різання [2].

Протягом багатьох років вдосконалення інструментальних матеріалів відбувалось шляхом підвищення твердості, теплостійкості, зносостійкості при одночасному зниженні характеристик міцності і в'язкості.

Проблема створення інструментального матеріалу з "ідеальними властивостями" повинна вирішуватися на основі розробки композиційного інструментального матеріалу, в якого високі значення поверхневої твердості, теплостійкості і фізико-хімічної інертності поєднувалися б з достатнім значенням міцності, в'язкості і межі витривалості та оптимальним співвідношенням "крихкої" і "пластичної" міцності.

Одним з найбільш ефективних способів забезпечення оптимального поєднання "твердість-пластичність" є застосування різних технологій поверхневої модифікації, найбільше застосування при цьому знаходять технології нанесення зносостійких покриттів.

Сучасні технології дозволяють отримати покриття комбінованого складу, багатшарові, з індивідуальними фізико-механічними, хімічними та трибологічними властивостями [3].

Мета роботи – обґрунтування режимів та методів термічної та хіміко-термічної обробки для підвищення експлуатаційних властивостей інструментальних сталей.

Задачі досліджень – провести патентно-літературний аналіз сучасного стану і проблеми підвищення експлуатаційних властивостей інструментальних сталей; дослідити мікроструктуру дослідних зразків і проаналізувати зміни структурно-фазового стану; виконати дослідження механічних властивостей зразків після термічної та хіміко-термічної обробки.

Об'єкт дослідження – процес термічної та хіміко-термічної обробки, зміна структури та механічних властивостей інструментальних сталей.

Предмет дослідження – інструментальні вуглецеві та леговані сталі після ТО та ХТО.

Методи досліджень – експериментальні дані отримані з використанням стандартних методів визначення фізико-механічних властивостей інструментальних сталей і сучасних мікроскопічних та металографічних методів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів. Наукова новизна отриманих результатів. Підтверджено закономірності формування структури та поверхневого шару оксидного покриття, а також механічних властивостей інструментальних сталей, які працюють в умовах тертя-зношування.

Практичне значення отриманих результатів. керування структурою і механічними властивостями захисних покриттів можливе лише за умов аналізу механізмів структуроутворення в процесі дифузійного насичення.

Особистий внесок здобувача. Автору належить аналіз літературних даних, постановки завдання та визначення мети дослідження, виготовлення зразків, проведення металографічних досліджень, визначення твердості, зносостійкості та оформлення роботи.

Апробація роботи. -

Публікації. – Тези доповіді. Київ 2020р.

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Робота складається із вступу, п'яти розділів, списку використаних джерел і додатку. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 85 сторінок, у тому числі 6 таблиць, 28 рисунків, бібліографії із 50 літературних джерел на 4 сторінках.

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Класифікація інструментальних матеріалів

Металообробний інструмент працює в умовах підвищених температур, тертя і зношування, а також значних силових навантажень. Тому інструментальні матеріали повинні володіти певними експлуатаційними фізико-механічними властивостями.

1. Інструментальний матеріал повинен володіти високою твердістю. Твердість інструментального матеріалу повинна бути вищою від твердості оброблюваного матеріалу не менше ніж в 1,5 – 2 рази.

2. При різанні металів виділяється значна кількість тепла, внаслідок чого ріжуча частина інструмента нагрівається. Тому інструментальний матеріал повинен зберігати високу твердість при температурах різання, тобто мати високу теплостійкість зі збереженням твердості.

Збільшення рівня теплостійкості інструментального матеріалу дозволяє йому працювати з великими швидкостями різання і, отже, підвищувати ефективність оброблення.

3. Важливою вимогою є висока міцність інструментального матеріалу. Якщо висока твердість матеріалу робочої частини інструмента не забезпечується необхідною міцністю, то це призводить до руйнування інструменту і викришування різальних кромки.

Таким чином, інструментальний матеріал повинен мати достатній рівень ударної в'язкості і чинити опір появі тріщин.

4. Інструментальний матеріал повинен мати високу зносостійкість при підвищеній температурі, тобто мати хороший опір стиранню оброблюваним матеріалом, що дозволяє довше забезпечувати первинне налаштування інструменту на розмір.

5. Інструментальний матеріал повинен володіти технологічними властивостями, що забезпечують оптимальні умови виготовлення інструментів.

Серед них можна виділити наступні: хороша оброблюваність різанням і тиском; схильність до термічного оброблення (мала чутливість до перегріву і зневуглицьовування, хороші загартовуваність і прогартовуваність, мінімальні деформування і утворення тріщин при загартуванні і т.п.) [4].

Фізико-механічні, теплофізичні і кристало-хімічні властивості інструментального матеріалу сильно впливають на працездатність різального інструменту, а оптимальний вибір цих властивостей дозволяє у відомих межах

керувати процесами зношення контактних площадок леза, знижувати інтенсивність їхнього зношення, трансформувати один вид зношення в інши.

Наприклад, при сталих значеннях геометричних параметрів лез і режимів обробки підвищення твердості, теплостійкості, міцності, пасивності активних реагентів з навколишнього середовища стосовно оброблюваного матеріалу супроводжується зростанням зносостійкості контактних площадок леза і відповідним підвищенням працездатності інструмента. Відповідно до вимог, що ставляться до інструментального матеріалу, вибір властивостей і конкретної марки матеріалу варто робити з урахуванням умов обробки, які визначаються властивостями оброблюваного матеріалу й характером контактної взаємодії інструментального та оброблюваного матеріалів у процесі різання [4].

Складний взаємозв'язок між різними властивостями інструментального матеріалу і їхній зв'язок з умовами обробки не лише визначають ступінь його відповідності комплексу вимог до нього, але й значною мірою обумовлюють відносно вузьку сферу його практичного застосування.

Відомо, що твердість і міцність інструментальних матеріалів це властивості антагоністи, тобто чим вища твердість матеріалу, тим нижча його міцність. Тому набір основних властивостей визначає область і умови раціонального використання інструментального матеріалу в ріжучому інструменті.

Наприклад, інструмент з надтвердих інструментальних матеріалів на основі алмазу і кубічного нітриду бору або з ріжучої кераміки, використовують виключно для суперчистового оброблення виробів на високих і надвисоких швидкостях різання, але при дуже обмежених січеннях зрізу [2].

Інструментальні матеріали поділяються на п'ять основних груп: інструментальні сталі (вуглецеві, леговані і швидкоріжучі); тверді сплави (групи ВК, ТК і ТТК); ріжуча кераміка (оксидна, оксикарбідна і нітридна); абразивні матеріали і надтверді матеріали (на основі алмазу і кубічного нітриду бору).

Найпоширеніша з цих груп – швидкоріжуча сталь, з якої виготовляється близько 60% інструменту, з твердих сплавів - близько 30%, з інших груп матеріалів – тільки близько 10% лезового інструменту [4].

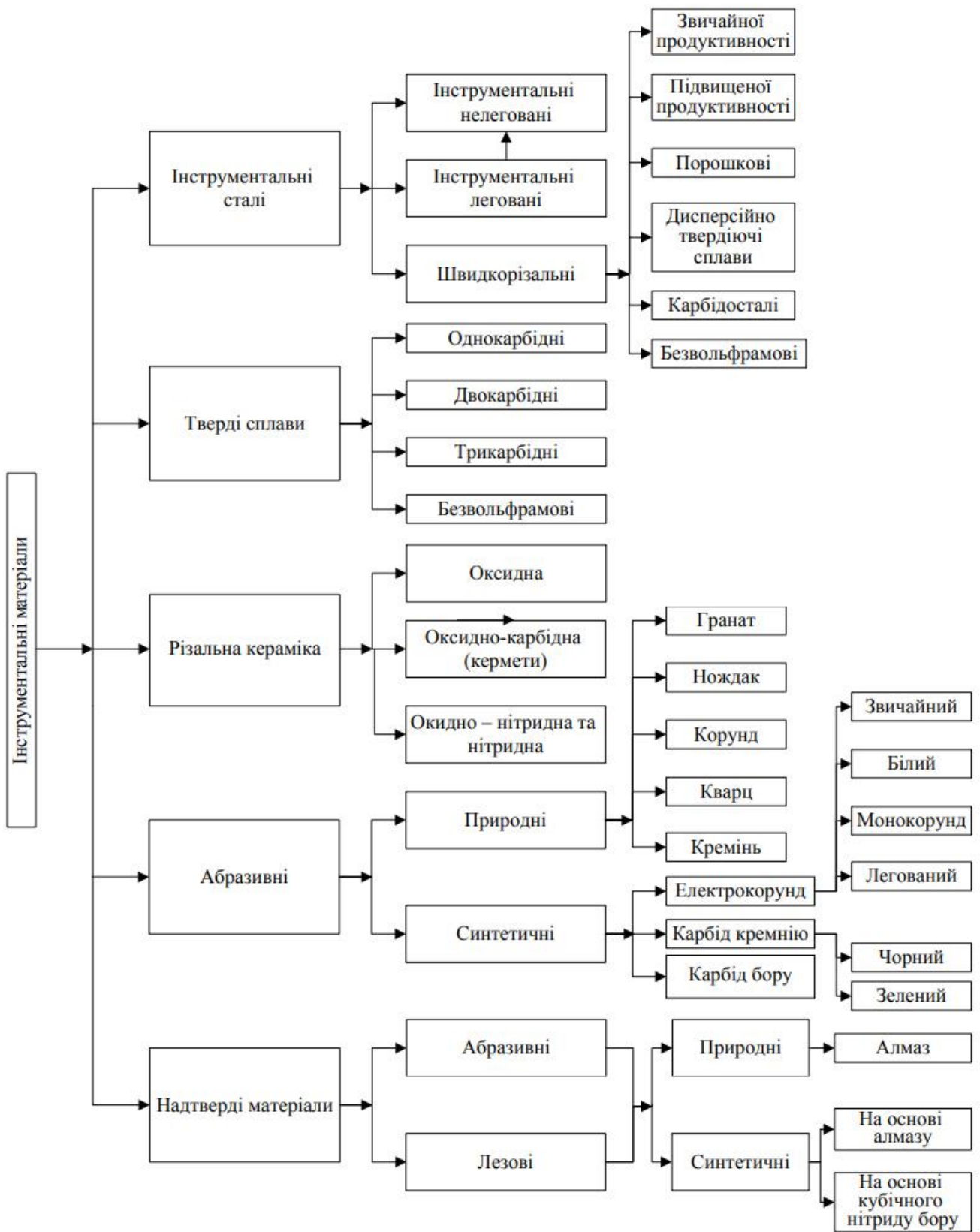


Рисунок 1.1 – Класифікація інструментальних матеріалів [2].

1.2 Інструментальні сталі

Ріжучі інструменти, виготовлені з вуглецевих інструментальних сталей У10А, У11А, У12А, У13А, характеризуються достатньою твердістю, міцністю і зносостійкістю при кімнатній температурі, їх недолік – низька теплостійкість. При температурі 200 – 250°C їх твердість різко зменшується. Тому вони знаходять застосування при виготовленні ріжучих інструментів, призначених для оброблення м'яких металів при низьких швидкостях різання, таких як напилки, дрібні свердла, розвертки, мітчики, плашки та ін [2].

Вуглецеві інструментальні сталі мають низьку твердість в стані поставки, що забезпечує їх хорошу оброблюваність різанням і тиском. Однак, вони вимагають застосування при загартуванні різких середовищ для гартування, що підсилює короблення інструментів і небезпеку утворення тріщин. Інструменти з вуглецевих інструментальних сталей погано шліфуються через значне нагрівання, відпустки і втрати твердості ріжучих кромки.

Через великі деформації при термічному обробленні і погану здатність до шліфування вуглецеві інструментальні сталі не використовуються при виготовленні фасонних інструментів, що підлягають шліфуванню за профілем [4].

Інструментальні леговані сталі мають більшу прогартуваність і загартовуваність, менш чутливі до перегріву, ніж вуглецеві сталі, і в той же час добре обробляються різанням і тиском.

Застосування легованих сталей зменшує кількість бракованих інструментів. Область застосування таких сталей така ж, що і для вуглецевих сталей. За теплостійкістю леговані інструментальні сталі незначно перевершують вуглецеві. Вони зберігають високу твердість при нагріванні до 200 – 2600°C і тому не придатні для різання з підвищеною швидкістю, а також для оброблення твердих матеріалів [1].

Леговані інструментальні сталі поділяються на сталі неглибокої і глибокої прогартуваності.

Сталі неглибокої прогартуваності, леговані хромом (0,2 – 0,7%), ванадієм (0,15 – 0,3%) і вольфрамом (0,5 – 0,8%) використовуються при виготовленні інструментів типу стрічкових пил і ножівкових полотен. Деякі з них мають більш спеціалізоване застосування. Наприклад, сталь ХВ4 рекомендується для виготовлення інструментів, призначених для оброблення матеріалів, що мають високу поверхневу твердість, при відносно невеликих швидкостях різання [5].

Характерною особливістю сталей глибокого прогартування є вищий вміст хрому (0,8 – 1,7%), а також комплексне введення у відносно невеликих кількостях таких легуючих елементів, як хром, марганець, кремній, вольфрам, ванадій, що істотно підвищує прогартуваність.

У виробництві інструментів з розглянутої групи найбільше застосування знаходять сталі 9ХС і ХВГ. В сталі 9ХС спостерігається рівномірний розподіл карбідів по січенню. Це дозволяє використовувати її для виготовлення інструментів відносно великих розмірів, а також для різенарізних інструментів, особливо круглих плашок з дрібним кроком різьби. Разом з тим сталь 9ХС має підвищену твердість у відпаленому стані, високу чутливість до знеуглецьовування при нагріванні.

Сталі ХВГ, ХВСГ, що містять марганець, мало деформуються при термічному обробленні. Це дозволяє рекомендувати сталь для виготовлення інструменту типу протяжок, довгих мітчиків, до яких висуваються жорсткі вимоги щодо стабільності розмірів при термічному обробленні. Сталь ХВГ має підвищену карбідну неоднорідність, особливо при перерізах, більших ніж 30 – 40 мм, що підсилює викришування різальних кромки і не дозволяє рекомендувати її для інструментів, що працюють у важких умовах [2].

Широке застосування для виготовлення металорізальних інструментів знайшли швидкоріжучі сталі, незважаючи на те, що інструменти з твердого сплаву, кераміки і надтвердих матеріалів забезпечують вищу продуктивність оброблення.

Широке використання швидкоріжучих сталей для виготовлення складнопрофільних інструментів визначається поєднанням високих значень твердості (до 68 HRCe) і теплостійкості (600 – 6500С) при високому рівні крихкої міцності і в'язкості, які значно перевищують відповідні значення для твердих сплавів. Крім того, швидкорізальні сталі мають високу технологічність, так як добре обробляються тиском і різанням у відпаленому стані [4].

В позначенні швидкоріжучої сталі буква Р означає, що сталь швидкоріжуча, а наступна за буквою цифра – вміст середньої масової частки вольфраму у відсотках. Наступні букви позначають: М – молібден, Ф – ванадій, К – кобальт, А – азот. Цифри, наступні за буквами, означають їх середню масову частку у відсотках. Вміст масової частки азоту становить 0,05 – 0,1%.

Високі ріжучі властивості швидкоріжучої сталі забезпечуються за рахунок легування сильними карбідоутворюючими елементами: вольфрамом, молібденом, ванадієм і некарбідоутворюючим кобальтом. Вміст хрому у всіх швидкоріжучих сталях становить 3,0 – 4,5% і в позначенні марок не вказується.

Практично у всіх марках швидкоріжучих сталей допускається вміст сірки і фосфору не більше 0,3% і нікелю не більше 0,4%. Істотним недоліком цих сталей є значна карбідна неоднорідність, особливо в прутках великого перерізу. Зі збільшенням карбідної неоднорідності міцність сталі знижується, при роботі викришуються ріжучі кромки інструменту і знижується його стійкість. Карбідна

неоднорідність виражена сильніше в сталях з підвищеним вмістом вольфраму, ванадію, кобальту. У сталях з молібденом карбідна неоднорідність проявляється в меншій мірі [5].

Сучасні швидкоріжучі сталі можна розділити на три групи: нормальної, підвищеної і високої теплостійкості.

До сталей нормальної теплостійкості відносяться вольфрамова P18 і вольфрамомолібденова P6M5 сталі. Ці сталі мають твердість в загартованому стані HRC 63 – 64, межу міцності при згині 2900 – 3400 МПа, ударну в'язкість 2,7 – 4,8 Дж/м² і теплостійкість 600 – 6200С.

Швидкоріжуча сталь P18, що містить 18% вольфраму, довгий час була найпоширенішою. Вона порівняно добре шліфується.

Велика кількість надлишкової фази карбиду робить сталь P18 більш дрібнозернистою, менш чутливою до перегріву при загартовуванні, більш зносостійкою. Зважаючи на високий вміст вольфраму, сталь P18 доцільно використовувати тільки для виготовлення інструментів високої точності, коли сталі інших марок не доцільно застосовувати через припалювання ріжучої частини при шліфуванні і заточуванні [2].

1.3 Хіміко-термічна обробка

Хіміко-термічна обробка (ХТО) – процес зміни хімічного складу, мікроструктури та властивості поверхневого шару деталі.

Зміна хімічного складу поверхневих шарів відбувається в результаті їх взаємодії з навколишнім середовищем (твердим, рідким, газоподібним, плазмовим), в якому здійснюється нагрів [6].

В результаті зміни хімічного складу поверхневого шару змінюються його фазовий склад і мікроструктура.

Основними технологічними параметрами хіміко-термічної обробки є температура нагріву та тривалість витримки при цій температурі.

В основі будь-якого різновиду хіміко-термічної обробки лежать процеси дисоціації, адсорбції, дифузії.

Дисоціація – отримання елемента, що насичує, в активованому атомарному стані в результаті хімічних реакцій, а також випаровування.

Наприклад,



Адсорбція – захоплення поверхнею деталі атомів елемента, що насичує. Адсорбція, це завжди екзотермічний процес, який призводить до зменшення вільної енергії.

Дифузія – переміщення адсорбованих атомів вглиб виробу.

Для здійснення процесів адсорбції та дифузії необхідно, щоб елемент, що насичує, взаємодіяв з основним металом, утворюючи тверді розчини або хімічні сполуки.

Хіміко-термічна обробка є основним способом поверхневого зміцнення деталей [6].

Основними різновидами хіміко-термічної обробки є:

- цементация (насичення поверхневого шару вуглецем);
- азотування (насичення поверхневого шару азотом);
- нітроцементация або ціанування (насичення поверхневого шару одночасно вуглецем та азотом);
- дифузійна металізація (насичення поверхневого шару різними металами).

Цементация – хіміко-термічна обробка, яка полягає у дифузійному насиченні поверхневого шару атомами вуглецю при нагріванні до температури 900...950 °С.

Цементации піддають сталі з низьким вмістом вуглецю (до 0,25 %).

Нагрівання виробів здійснюють в середовищі, яке легко віддає вуглець. Підбравши режими термічної обробки, поверхневий шар насичують вуглецем до необхідної глибини [7].

Глибина цементации (h) – відстань від поверхні виробу до середини зони, де в структурі є однакові обсяги фериту та перліту ($h=1...2$ мм).

Ступінь цементации – середній вміст вуглецю в поверхневому шарі (зазвичай, не більше 1,2 %).

Більш високий вміст вуглецю призводить до утворення значної кількості цементиту вторинного, який надає шару підвищену крихкість.

На практиці застосовують цементацию в твердому і газовому карбюризаторі (середовище, що насичує вуглецем).

Ділянки деталей, які не повинні цементуватися, попередньо покриваються міддю (електролітичним способом) або глиняною сумішшю.

Азотування – хіміко-термічна обробка, при якій поверхневі шари насичуються азотом. У промисловому масштабі такий спосіб застосовується з 20-х років минулого століття (запропонований академіком Н. П. Чижевським) [8].

При азотуванні сталевий виріб не піддається значному термічному впливу, при цьому твердість його поверхневого шару значно збільшується. Важливо, що розміри деталей, що азотуються, не змінюються. Це дозволяє застосовувати цей метод обробки для сталевих виробів, які вже пройшли загартування з високим відпуском та відшліфовані до необхідних геометричних параметрів. Після виконання азотування, або азотації, як часто називають цей процес, сталь можна відразу ставити під полірування або інші методи фінішної обробки.

Азотування сталі полягає в тому, що метал піддають нагріванню в середовищі, що характеризується високим вмістом аміаку. В результаті такої обробки у поверхневому шарі металу, який насичується азотом, відбуваються такі зміни:

- поліпшується зносостійкість деталі за рахунок того, що твердість поверхневого шару сталі підвищується;
- зростає втомна міцність виробу;
- поверхня виробу стає стійкою до корозії (така стійкість зберігається при контакті сталі з водою, вологим повітрям та пароповітряним середовищем) [6].

Ціанування – хіміко-термічна обробка, при якій поверхня насичується одночасно вуглецем та азотом.

Здійснюється у ваннах з розплавленими ціанистими солями, наприклад NaCN з добавками солей NaCl , BaCl та ін. [7].

Глибина шару і концентрація в ньому вуглецю та азоту залежать від температури процесу і його тривалості.

Ціанований шар має високу твердість 58...62 HRC та добре чинить опір зносу. Підвищуються втомна міцність і корозійна стійкість.

Тривалості процесу – 0,5...2 годин.

Високотемпературне ціанування проводиться при температурі 800...950 °С, супроводжується переважним насиченням сталі вуглецем до 0,6...1,2 %, (рідинна цементация). Зміст азоту в ціанованому шарі – 0,2...0,6 %, товщина шару – 0,15...2 мм. Після ціанування вироби піддаються загартуванню та низькому відпуску. Остаточна структура ціанованого шару складається з тонкого шару карбонітридів $\text{Fe}_2(\text{C}, \text{N})$ на поверхні, та азотистого мартенситу [8].

У порівнянні з цементациєю високотемпературне ціанування відбувається з більшою швидкістю, призводить до меншої деформації деталей, забезпечує більшу твердість та опір зносу.

Низькотемпературне ціанування проводиться при температурі 540...600 °С, супроводжується переважним насиченням сталі азотом.

Проводиться для інструментів з швидкорізальних, високохромистих сталей. Є остаточною обробкою. Основним недоліком ціанування є отруйність ціанистих солей.

Нітроцементация – газове ціанування, здійснюється в газових сумішах: газу, що містить вуглець, та аміаку, що розклався [6].

Високотемпературна нітроцементация проводиться при температурі 830...950 °С, для машинобудівних деталей з вуглецевих та малолегованих сталей при підвищеному вмісті аміаку. Завершальною термічною обробкою є гартування з низьким відпуском.

В результаті газового ціанування з подальшою термообробкою на поверхні сталі утворюється дуже твердий (56...62 HRC) шар азотистого мартенситу, який добре чинить опір зносу і має високу межу витривалості, над яким розташовані світлі поля залишкового аустеніту.

Металізація – покриття поверхні виробу металами та сплавами для створення фізико-хімічних та механічних властивостей, відмінних від властивостей матеріалу, що металізується. Металізацію застосовують для захисту виробів від корозії, зносу, ерозії, в декоративних та інших цілях. За принципом взаємодії поверхні, що металізується (підкладки) з металом, що наноситься, розрізняють металізацію, при якій зчеплення покриття з основою (підкладкою) здійснюється механічно – силами адгезії, та металізацію, при якій зчеплення забезпечується силами металевого зв'язку: з утворенням дифузійної зони на межі поверхонь, що сполучаються, за межами якої покриття складається з накладеного шару металу або сплаву (підгрупа 2а), та з утворенням дифузійної зони в межах всього шару покриття (підгрупа 2б) [7].

Дифузійна металізація – хіміко-термічна обробка, при якій поверхня сталевих виробів насичується різними елементами: алюмінієм, хромом, кремнієм, бором, цинком та ін.

Дифузія металів протікає дуже повільно, оскільки утворюються розчини заміщення. Тому при однакових температурах дифузійні шари в десятки та сотні разів тонше, ніж при цементации.

Дифузійна металізація – процес коштовний, адже здійснюється при високих температурах (1000...1200 °С) протягом тривалого часу [8].

Однею з основних властивостей металізованих поверхонь є жаростійкість, тому жаростійкі деталі для робочих температур 1000...1200 °С виготовляють з простих вуглецевих сталей з наступним алітуванням, хромуванням або силіціюванням.

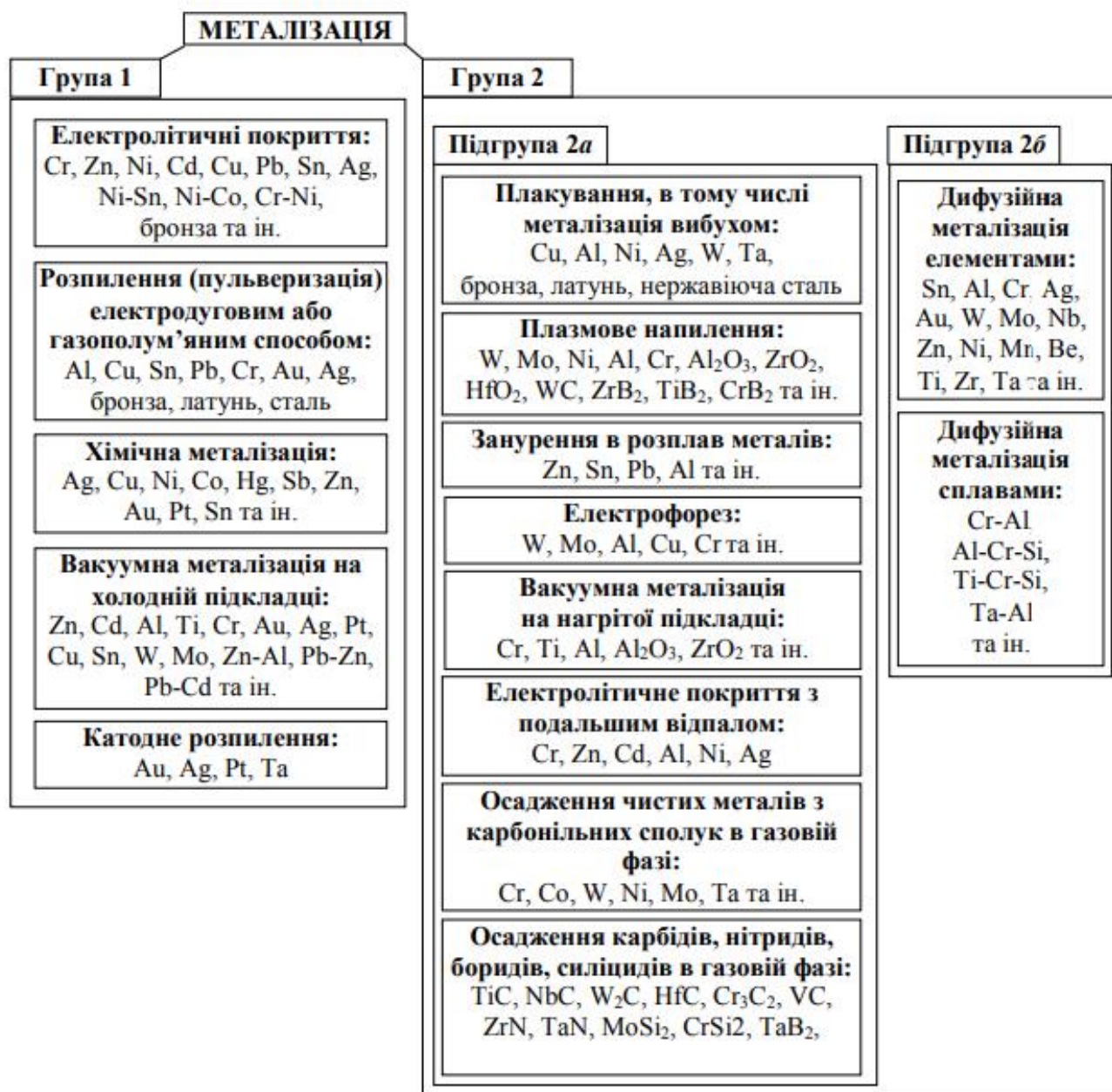


Рисунок 1.2 Методи металізації [6]

1.4 Огляд публікацій за тематикою досліджень

Швидкісний метод нітроцементації легованої сталі [9]

Актуальним є випробування нового азото- та вуглецевмісного середовища для прискорення технологічного процесу ХТО. Метою науково-дослідної роботи є дослідження впливу технологічних параметрів низькотемпературної нітроцементації на структуру та властивості легованої сталі.

Встановлено оптимальний режим зміцнення поверхневого шару нітроцементациєю, при якому поверхнева твердість становить 9,3 ГПа з загальною глибиною дифузійного шару 0,3 мм. Виявлено, що прискорення дифузії зростає майже в 5–10 разів залежно від температури ХТО при використанні запропонованого нами способу нітроцементациї.

Застосування йонно-плазмового термоциклічного азотування для підвищення зносостійкості високолегованої сталі [10]

Наведено результати йонно-плазмового термоциклічного азотування при формуванні зміцненої поверхні високолегованої сталі, які дозволили збільшити твердість робочої поверхні до 9–12 ГПа, порівняно з традиційними методами; підвищити продуктивність процесу в 3–5 разів та сформувати поверхневий нітридний шар без мікротріщин.

Отримані дані про зносостійкість зміцнених шарів в умовах абразивного зношування показали ефективність застосування методу для поверхневого зміцнення високолегованих сталей.

Особливості азотування середньовуглецевих конструкційних сталей в тліючому розряді з незалежними параметрами [11]

Проведено дослідження елементного і фазового складу, структури та мікротвердості модифікованої поверхні зразків зі сталі 45 безводневим азотуванням в тліючому розряді варіацією енергетичних параметрів. Найбільше значення мікротвердості в модифікованому поверхневому шарі досягається при максимальному енергетичному впливі (великій густині розрядного струму і високій напрузі між електродами розрядної камери) на поверхню, поряд з групою традиційних режимних технологічних параметрів (температура зразків, тиск газової суміші в розрядній камері, склад газової суміші, тривалість процесу азотування).

Підвищення зносостійкості деталей шляхом заміни цементациї на карбохромування [12]

Проведено експеримент з додавання порошку хрому до складу реакційної суміші при цементациї. Температурно-часові характеристики процесу карбохромування відповідають стандартним параметрам цементациї. Проведені дослідження показали, що при карбохромуванні спостерігається підвищення твердості та зносостійкості поверхневих шарів у порівнянні з цементованими.

Карбохромування у порошковій суміші при одночасному насиченні вуглецем і хромом [13]

Одним з найбільш ефективних методів поверхневого зміцнення металів і сплавів є хіміко-термічна обробка (ХТО). Однак традиційні процеси ХТО (цементация, нітроцементация та азотування) не завжди задовольняють сучасним вимогам, що пред'являються до деталей машин і інструменту. Це обумовлює інтерес до процесів формування дифузійних покриттів на основі карбідів.

1.5 Патентний огляд

Спосіб низькотемпературного нітроцементування сталевих деталей [14]

Спосіб низькотемпературної нітроцементации сталевих деталей включає завантаження деталей в контейнер, нагрів, введення азотвмісного органічного реагенту, що насичує, витримку та охолодження. З метою поліпшення якості покриття реагент, що насичує, вводиться одночасно із завантаженими деталями, контейнер герметизується, а як азотвмісний органічний реагент використовуються поліаміди.

Спосіб низькотемпературного деформаційного азотування поверхневих шарів металевих виробів [15]

Спосіб низькотемпературного азотування включає інтенсивну пластичну деформацію. Наноструктурований азотований шар матеріалу формують впродовж інтенсивної пластичної деформації високочастотною ударною обробкою (ВУО) безпосередньо в азотвмісному середовищі без додаткового нагрівання.

Спосіб поверхневої обробки сталеві деталі азотуванням або азотонавуглецюванням, оксидуванням, а потім просочуванням [16]

Винахід належить до способу поверхневої обробки сталеві деталі для надання їй підвищеної стійкості до зносу і до корозії, що включає: етап азотування або азотонавуглецювання, призначений для утворення складеного шару завтовшки щонайменше 8 мікрметрів, утвореного з нітридів заліза фаз ϵ і/або g' етап оксидування, призначений для утворення шару оксидів завтовшки від 0,1 до 3 мікрметрів, і етап просочування шляхом замочування у просочувальній ванні протягом щонайменше 5 хвилин при температурі навколишнього середовища, причому вказана ванна утворена з щонайменше 70 мас. %, плюс або

мінус 1 %, розчинника, утвореного з суміші вуглеводнів, що складається з фракції алканів C9-C17, 10-30 мас. %, плюс-мінус 1 %, щонайменше одного парафінового масла, що складається з фракції алканів C16-C32, і щонайменше однієї домішки типу синтетичної фенольної домішки у концентрації від 0,01 до 3 мас. %, плюс або мінус 0,1 %.

***Спосіб азотування в тліючому розряді
з оптимізацією технологічного режиму [17]***

Спосіб азотування в тліючому розряді з оптимізацією технологічного режиму з використанням аналітичних показників впливу окремо кожного з головних субпроцесів на результати обробки, якими є відносні енергетичні фактори як числові величини, котрі відображають сепарацію енергетичного спектра потоку часток, що бомбардують поверхню, по енергетичних діапазонах, в межах яких можливі головні субпроцеси: утворення нітридів, дифузія азоту, розпорошення поверхні, з наступним вибором найкращого окремо для кожного з субпроцесів, який відрізняється тим, що технологічний процес проводять при значеннях параметрів режиму, які вибирають відповідно до оптимального значення комплексного показника, котрий враховує взаємний вплив основних субпроцесів один на одного.

ВИСНОВКИ

Аналіз літературних даних показує, що нанесення дифузійних карбідних та карбонітридних покриттів на поверхню інструментальних сталей дозволяє підвищити їх надійність та довговічність.

Повсюди визнана необхідність розробки нових технологій поверхневого зміцнення для економії дефіцитних матеріалів.

Використання поверхневих зносостійких покриттів для підвищення властивостей ріжучого інструменту досить широко розповсюджено в інструментальному виробництві.

РОЗДІЛ 2

ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Мікроструктурний аналіз

Мікроскопічним методом дослідження (мікроаналізом), називається дослідження структури металів і сплавів за допомогою мікроскопа на спеціально підготовлених зразках [18].

Будова (структура) металів, яка вивчається мікроаналізом, називається мікроструктурою.

Мікроаналіз дає можливість вивчати структуру металів і сплавів після різних видів обробки (деформації, термообробки та інші), а також дозволяє визначати форму, розмір та розташування різних елементів цієї структури, які мають назву структурних складових (зерен, включень різного роду та інші) [19].

Зразок металу, підготовлений для мікроаналізу, називають мікрошліфом. Виготовлення мікрошліфа складається з вирізування зразка, шліфування і полірування до дзеркального блиску його поверхні, яку було вибрано для дослідження. Щоб визначити мікроструктуру, дзеркальну структуру мікрошліфа піддають травленню спеціальними реактивами. Для сталі, наприклад, більш широко застосовують реактив, який являє собою 4-відсотковий розчин азотної кислоти (HNO_3) у спирті чи воді [18].

Для мікроаналізу використовуються металографічні мікроскопи МИМ-7, МИМ-8, Неофот-21. Ці мікроскопи працюють на принципі віддзеркалення світла від поверхні мікрошліфа, а тому вони дозволяють досліджувати будову тільки непрозорих предметів (металів, пластмас, металокераміки і т.п.).

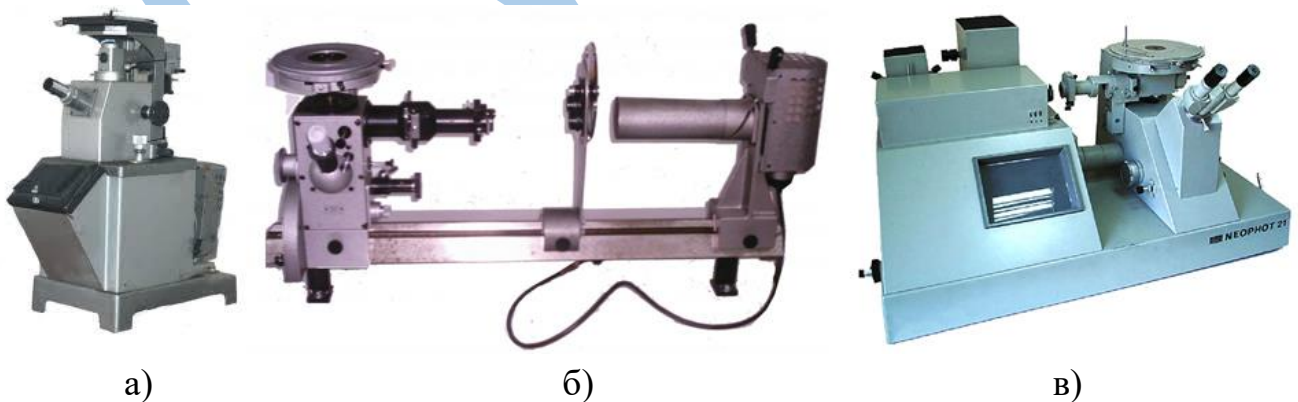


Рисунок 2.1 Загальний вигляд металографічних мікроскопів
а) МИМ-7; б) МИМ-8; в) Неофот-21

Принцип роботи мікроскопа - мікроскоп спрямовує пучок світла від джерела (лампа) через конденсер, напівпрозору пластину-освітлювач, лінзуоб'єктив на поверхню зразка, при цьому лінза конденсер і напівпрозора пластина-освітлювач пучок світла роблять паралельним осі мікроскопа. Відбите від поверхні зразка світло проходить наскрізь через освітлювач, потрапляє в лінзу-окуляр і досягає ока дослідника [19].

Якщо, мікрошліф має дзеркальну поверхню, то усе світло, яке падає на поверхню шліфа, відбивається і досягає дослідника, який бачить тільки рівну поверхню зразка і не спостерігає на ній ніякої структури металу.

Щоб визначити структуру металу, як було описано вище, роблять травлення дзеркальної поверхні. Внаслідок цього травитель неоднаково розчиняє різні ділянки поверхні. Одні ділянки розчиняються інтенсивно, другі менш інтенсивно, а треті зовсім не розчиняються. Таким чином, на поверхні зразка утворюється рельєф, котрий відповідає структурі металу [18].

Наприклад, ділянки поверхні, які мають найбільші внутрішні напруження, а це – границі між зернами, будуть розчинятись з найбільшою інтенсивністю. Тому на місці цих границь після травлення залишаються заглибини. Коли ж пучок світла влучить до цих границь (заглибин), то він розсіється, а не віддзеркалиться, і дослідник буде бачити на місці границь темні ділянки. Таким чином рельєф на поверхні зразка, який виникає після травлення, спостерігається у вигляді контрасту (нерівномірного освітлення поверхні), котрий дає досліднику необхідну інформацію про структуру металу [19].

Аналіз сучасних металографічних мікроскопів:

Мікроскоп металографічний портативний UIT PM-500 [20]



Рисунок 2.2 Мікроскоп PM-500

Мікроскоп UIT PM-500 - компактний, автономний металографічний мікроскоп світлого поля з можливістю установки замість окуляра компактного фотоапарата або USB камери. Комплектні окуляри і планахроматические об'єктиви забезпечують збільшення до 500х.

Джерело світла - світлодіодний освітлювач з регульованим рівнем яскравості і батарейним живленням (елемент живлення CR2032). У комплект мікроскопа входить галогенний регульований освітлювач з блоком живлення для використання в стаціонарних умовах.

У основі мікроскопа є координатний столик, з можливістю переміщення по осях X-Y. Магнітні кріплення дозволяють кріпити мікроскоп UIT PM-500 до труб, зігнутих або похилих поверхонь великогабаритних виробів і інших складних об'єктів з феромагнетиків.

Після фіксації на об'єкті можливість плавно переміщати мікроскоп уздовж досліджуваної поверхні зберігається.

Мікроскоп комплектується оснащенням для закріплення на нім компактної фотокамери, що дозволяє виконувати високоякісне фотографування поверхні виробу.

Мікроскоп металографічний інвертований UIT MicroMet-I-102 [20]



Рисунок 2.3 Мікроскоп MicroMet-I-102

Бінокулярна насадка. Фотопорт на бічній стінці корпусу. Збільшення 50х-1000х. Оптична система IOS скоректована "на нескінченність". Планахроматичні об'єктиви. П'ятипозиційний револьверний пристрій.

Потужна система освітлення Epi-Kohler з галогенною лампою, регульованою польовою і апертурною діафрагмами. Світлофільтри і поляризатор.

Мікроскоп металографічний прямий Optika B-1000MET [20]



Рисунок 2.4 Мікроскоп B-1000MET

B-1000 — флагманська серія мікроскопів, що втілює у собі усі напрацювання і досягнення компанії "Optika". Ергономічний і надійний прямий мікроскоп, призначений для вирішення як рутинних, так і найрізноманітніших дослідницьких завдань. Литий стійкий корпус і високоточна система фокусування.

Модульна конструкція мікроскопа дозволяє підібрати конфігурацію приладу, що найбільш відповідає спектру завдань Замовника.

Для цієї моделі мікроскопа доступні моторизовані предметні столики і система автоматичного фокусування.

Металографічна версія приладу припускає вибір з двох джерел світла: потужного 8-ми ватного світлодіодного освітлювача або класичної 100 Вт галогенної лампи.

Стандартні приєднувальні розміри для окулярів і об'єктивів дозволяють доукомплектувати прилад і розширити його можливості.

Тринокулярна поворотна насадка і широкий асортимент адаптерів (опційно) дозволяють підключати до мікроскопа як спеціалізовані USB-відеокамери, так і класичні фотоапарати.

2.2 Вимірювання твердості

Твердість характеризується спроможністю металу чинити опір значній пластичній деформації при контактному навантаженні. Дослідження на твердість завжди проводяться безпосередньо на поверхні виробу або деталі шляхом механічного вдавлювання в метал іншого більш твердого тіла (індентора) [21].

Вимірювання твердості, як способу дослідження механічних властивостей металів, в результаті простоти і швидкості визначення твердості, а також можливості оцінки властивостей металів без руйнації виробів, отримав дуже широке застосування як на заводах так і в науково-дослідних і навчальних закладах. Метод визначення твердості цінний ще і тим, що між твердістю матеріалу і його межею текучості і міцності є цілком визначений зв'язок [22].

Кожний метод визначення твердості полягає у вдавлюванні робочого тіла (індентора) у плоску поверхню дослідного матеріалу зразка або деталі. Через велику кількість властивостей різноманітних матеріалів у практиці застосовуються різні методи визначення твердості. В одних методах індентором є кулька (метод Брінелля) в інших - твердосплавний або діамантовий конус (метод Роквелла) або діамантова піраміда (метод Віккерса, мікротвердість) [21].

Вдавлювання індентора в поверхню матеріалу здійснюється в кожному методі визначення твердості з різним навантаженням. Сила навантаження на індентор залежить від властивостей матеріалу, розмірів (товщини) дослідного зразка й інших факторів експерименту [22].

При вимірюванні твердості за Брінеллем ГОСТ 9012-59 сталева кулька діаметром D (1; 2; 2.5; 5 і 10 мм) вдавлюється у випробуваний зразок під дією навантаження P (625–30000 Н) упродовж (10 с), після зняття навантаження вимірюють діаметр d відбитка. У поверхневому шарі під індентором відбуваються інтенсивна пластична деформація і витіснення матеріалу з-під індентора, що може спотворювати форму відбитка. Діаметр відбитка виходить тим менший, чим більший опір матеріалу зразка деформації, виробленої індентором. Число твердості за Брінеллем (НВ, Н/мм²) є відношенням навантаження P , що діє на індентор діаметром D , до площі F поверхні відбитка [23].

При вимірюванні твердості за Роквеллом, ГОСТ 9013-59 інденторами є алмазний або твердосплавний конус з кутом при вершині 120° або сталева кулька діаметром 1,588 мм.

Вдавлювання індентора у зразок робиться під дією двох навантажень, що послідовно додаються: попереднім P_0 та загальним $P = P_0 + P_1$, де P_1 – основне навантаження [23].

Число твердості за Роквеллом вимірюється в умовних одиницях і є мірою глибини вдавлювання індентора під певним навантаженням. Спочатку індентор вдавлюється в поверхню зразка під попереднім навантаженням $P_0 = 100 \text{ Н}$ (10 кгс), яке не знімається до кінця випробування. Це виключає вплив вібрації і будови тонкого поверхневого шару на точність випробування. Потім на зразок подається основне навантаження P_1 і збільшується глибина вдавлювання. Залишкова глибина вдавлювання (h) після зняття основного навантаження P_1 і визначає число твердості за Роквеллом (HR) [23].

Чим більша глибина вдавлювання h , тим менше число твердості.

Найчастіше застосовують шкали вимірювання HRA, HRB і HRC. У деяких випадках HRD, HRE, HRF, HRG, HRH, HRK [23].

При стандартному вимірюванні твердості за Віккерсом (ГОСТ 2999-75) в поверхню зразка вдавлюють алмазний індентор у формі чотиригранної піраміди з кутом при вершині $\alpha \sim 136^\circ$. Після зняття навантаження $P = 10 - 1000 \text{ Н}$, що діяло певний час (10 – 15 с), вимірюють діагональ відбитка d , що залишився на поверхні зразка (рис. 6). Число твердості записується без одиниці вимірювання, наприклад, HV 250.

Відносно невеликі навантаження і мала глибина вдавлювання індентора (менше від 1 мм) обумовлюють необхідність більш ретельної підготовки поверхні. Як правило, поверхня повинна бути відполірована і вільна від наклепу. Для отримання достовірних значень HV на кожному зразку роблять не менше п'яти вимірювань [23].

Аналіз сучасних твердомірів:



Рисунок 2.5 Твердомір Роквелла HRT-5 [24]

Стационарні твердоміри МІКРОТЕХ типу HRT-5 призначені для вимірювання твердості виробів, металів і сплавів за методами Роквелла за шкалою HRA, HRB, HRC з діапазоном навантажень 588-1471 Н. С дискретністю 0,1 HR.



Рисунок 2.6 Твердомір Брінелля мультишкальний LD3000 [24]

AFFRI



- Стандарт Affri
- Високоякісний твердомір Брінеля
- Мультишкальний
- Цифровий дисплей або вбудований комп'ютер
- Автоматичний або напів/автоматичний
- 100% метрологічний контроль
- Калібрування ISO 17025:2017
- Виробництво Affri (Італія)



Параметр	LD3000	LD3000A
Діапазон вимірювань Брінель, Н	98.07-29421	
Діапазон вимірювань Роквелл, Н	588,4-1471 (для LD3000 опція)	
Діапазон вимірювань Віккерс, Н	98.07-980.7 (для LD3000 опція)	
Макс. висота зразка, мм	150 (300)	
Глибина, мм	190	
Навантаження	автоматичне	
Індикація	цифрова	вбудований ПК
Мікроскоп	зовнішній	вз камерою
Обчислення	оператор	автоматичний
Ціна поділки шкали, HR	0,1	0,1
Столики	пласкі Д 60мм та Д 160мм, призматичні	
Ціна, Євро	20900	заказ

Рисунок 2.7 Характеристики твердоміра Брінелля LD3000



Рисунок 2.8 Твердомір Віккерса Affri 100JS [24]

Зусилля навантаження, Н 0.098-98; Похибка $>0.1\%$; Дискретність 0.1HV; Макс. висота зразка, мм 300; Макс. глибина зразка, мм 135; Ход столика, мм 250x300; Столик 100x100, ручний; Фокус ручний; Підвід та навантаження автоматичне; Туррет автоматичний (6 позицій); Об'єктиви 2,5x, 5x, 10x, 20x, 40x, 50x, 100x.

Стандарт Affri

- Високоякісний твердомір Віккерса
- Мультишкальний (опційні Кнуп, Роквелл, Віккерс індентори)
- Вбудований комп'ютер з ПЗ Affri OMAG
- Автоматичний або напів/автоматичний
- 100% метрологічний контроль
- Калібрування ISO 17025:2017
- Виробництво Affri (Італія)



Рисунок 2.9 Мікро-Твердоміри Віккерса автоматичні DM2 [24]

Патентована система навантаження

- Результати у цифровому вигляді та на ПК
- 100% метрологічний контроль ISO 17025, гарантія 12 місяців
- Сертифікат ISO 17025 або Свідоцтво державної повірки на замовлення
- Виробництво AFFRI (Італія)



Рисунок 2.10 Твердомір портативний мультишкальний Mk II 5kg [24]

Портативний мультишкальний твердомір

- Великий вибір аксесуарів та стендів (у т.ч. автоматизованих)
- 100% метрологічний контроль ISO 17025, гарантія 12 місяців
- Сертифікат ISO 17025 або Свідоцтво державної повірки на замовлення
- Виробництво AFFRI (Італія)

• Сервіс МІКРОТЕХ (Україна)

2.3 Рентгеноструктурний аналіз

Рентгенівські промені – це електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі в діапазоні 10^{-1} – 10^3 Å. Ці промені містяться в невидимій частині спектра, унаслідок чого в іноземній науковій літературі до цього часу їх називають невідомими променями (X-ray) [25, 26].

Враховуючи широкий частотний діапазон, рентгенівське випромінювання умовно можна поділити на жорстке (промені з довжиною хвилі 0,1–10 Å), м'яке (промені з довжиною хвилі 10–300 Å) та ультрам'яке (промені з довжиною хвилі 300–1000 Å), що певною мірою впливає на інтенсивність їхньої взаємодії з речовинами – поглинання, проникнення, фотографічна та іонізаційна дії тощо. Основне практичне використання рентгенівського випромінювання обумовлене його хвильовою природою та порівняно малою довжиною хвилі [25, 26].

Рентгенівське випромінювання виникає при різкому гальмуванні електронів у матеріальному середовищі, а також при взаємодії γ - випромінювання з матеріалами. Пристрій, в якому генерується рентгенівське проміння, називається рентгенівською трубкою [25, 26].

В основу рентгеноструктурного аналізу покладено явище дифракції рентгенівських променів на кристалічній ґратці, відкрите в 1912 році М. Лауе і його колегами В. Фрідріхом та П. Кніппінгом у вигляді так званого інтерференційного рівняння Лауе, яке у векторній формі має вигляд:

$$(S - S_0) / \lambda = H \quad (1)$$

Тут S_0 - одиничний вектор падаючого променя; S - одиничний вектор променя, розсіяного в напрямку інтерференції; λ - довжина хвилі; H - вектор, перпендикулярний до деякого сімейства площин (hkl) в оберненій ґратці кристала, причому довжина його пов'язана з міжплощинною відстанню цього сімейства (d) співвідношенням $|H| = n/d$, де n - ціле число (порядок відбиття), кут між векторами S і S_0 називається кутом розсіювання (2θ) [27].

Виходячи з припущення, що рентгенівські промені можуть відбиватися від кристалографічних площин аналогічно відбиттю видимого світла від дзеркальних поверхонь із виконанням законів геометричної оптики, російський вчений Вульф і, незалежно від нього, англійці батько і син Брегг вивели аналогічне рівняння в 1913 році, але у скалярній формі.

Нехай під кутом θ до сімейства паралельних площин кристалу падає паралельний пучок рентгенівських променів із довжиною хвилі λ (рис.2.11).

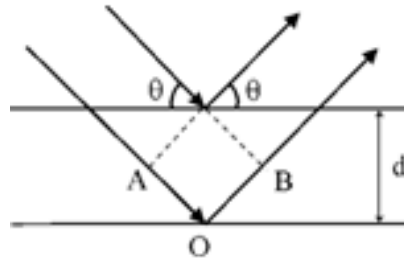


Рисунок 2.11 - Схема ходу рентгенівських променів при дифракції від сімейства атомних площин: θ - кут падіння променя; d - міжплощинна відстань

Коли різниця ходу променів при розсіюванні від сусідніх паралельних площин ($AO + OB$) = $2d\sin(\theta)$ буде така, що дорівнює цілому числу n довжин хвиль λ , тоді промені будуть у фазі і в результаті інтерференції підсилюватимуться в напрямку відбиття променя [26].

Математично це виражається скалярним рівнянням, яке одержало назву рівняння Вульфа - Брегга:

$$d\sin(\theta) = n\lambda \quad (2)$$

Дане рівняння пов'язує довжину хвилі λ та кут 2θ відносно падаючого променя, під яким буде спостерігатися дифракційний максимум від сімейства площин з міжплощинною відстанню d (рис. 2.11).

У першому наближенні при одержанні цього рівняння можна знехтувати поглинанням відбитих променів та їх взаємодією з первинним пучком. Такий підхід характерний для кінематичної теорії розсіювання рентгенівських променів. Більш загальною є динамічна теорія розсіювання, в якій враховується ослаблення та обмін енергією всіх пучків у кристалі - як первинного, так і розсіяних [27].

Незважаючи на загальність динамічної теорії, в класичному структурному аналізі вона майже не використовується. Так, оцінка границі застосування кінематичної теорії для розрахунку інтенсивності рентгенівських максимумів знаходиться в межах товщини кристалів 1-10 мкм. Реальний кристал являє собою мозаїку із кристалічних блоків розміром близько 0,1 мкм, які розорієнтовані на кути порядку до 0,01 рад. Тому когерентна взаємодія розсіяних хвиль у такому кристалі проходить у межах одного блока. Це приводить до того, що результати одержані для реальних кристалів у рамках кінематичної і динамічної теорій збігаються [27].

У рентгеноструктурному аналізі використовують довжини хвиль λ порядку 0,02 - 0,2 нм. Генерація рентгенівського випромінювання потрібної довжини хвилі здійснюється електронними вакуумними рентгенівськими трубками. Принцип їх роботи аналогічний до роботи телевізійного кінескопа. Джерелом електронів

служить розжарений катод у вигляді вольфрамової спіралі, покритий шаром матеріалу, який зменшує роботу виходу електронів. Електрони прискорюються під дією електричного поля (прискорююча напруга U до 60 кВ) та направляються на металічний анод. Енергія електронів при їх різкому гальмуванні перетворюється в фотони рентгенівського випромінювання з різними довжинами хвиль. Мінімальна довжина хвилі λ_{\min} відповідатиме повній зупинці електронів

$$\lambda_{\min} = eU \quad (3)$$

де h - стала Планка; c - швидкість світла; e - заряд електрона.

Так, формується неперервний (білий) спектр, який зі сторони великих довжин хвиль обмежений поглинанням у повітрі та берилієвому вікні трубки. Експерименти показують, що максимум інтенсивності в суцільному спектрі знаходиться приблизно на довжині хвилі $1,5\lambda_{\min}$ [27].

Аналіз сучасного обладнання для рентгеноструктурного аналізу:



Рисунок 2.12 Дифрактометр Malvern Panalytical EMPYREAN [28]

Дифрактометр EMPYREAN - унікальний за своїми можливостями рентгенівський дифрактометр з вертикально розташованим $\theta - \theta$ гоніометром високого дозволу. Завдяки модульній конструкції рентгенівський дифрактометр EMPYREAN призначений як для наукових досліджень, так і для аналітичного контролю в промисловості, поєднує можливості класичного порошкового і дослідницького дифрактометра.

Аналітичні завдання, вирішувані на дифрактометрі Empyrean:

- Ідентифікація фаз, в тому числі в режимі "на провіт", кількісний фазовий аналіз, визначення аморфної компоненти;
- Визначення та уточнення параметрів елементарної комірки;
- Ідентифікація фаз (по шарах), рефлектометрия (визначення товщини і щільності шарів);
- Аналіз епітаксійних структур;
- Картування в зворотному просторі;
- Визначення напружень в шарах, аналіз текстури;
- Ідентифікація фаз в наноструктурах, вимір розмірів наночастинок;
- Малокутове розсіювання;
- мікродифракції;
- Визначення розмірів кристалітів і мікронапруг;
- Аналіз текстур і напруг;
- Високо і низькотемпературні дослідження;
- Вивчення процесів кристалізації і фазових переходів при зміні температури;
- Отримання тривимірної картини досліджуваного об'єкта (комп'ютерна томографія).



Рисунок 2.13 Дифрактометр CubiX PRO [28]

Застосування дифракційного фазового аналізу при контролі різних технологічних процесів - новий крок в управлінні якістю процесів виробництва.

CubiX PRO - перший промисловий дефрактометр, який не поступається за якістю одержуваних аналітичних параметрів дослідним дифрактометрів (типу X'Pert PRO), оптимізований для промислового застосування.

Дефрактометр CubiX PRO використовує добре зарекомендував себе φ - φ гоніометр з горизонтальною системою зміни проб, при цьому рентгенівська трубка знаходиться над зразком.

Дифрактометрична система CubiX PRO може бути обладнана двома типами змінників зразків. Стандартним є швидкий 64-х позиційний горизонтальний змінник, який до двох разів швидше, ніж змінник проб касетно-магазинного типу. В якості альтернативного змінника може бути запропонований вертикальний 21-позиційний змінник.



Рисунок 2.14 Дифрактометр X'Pert PRO на платформі PreFix [28]

Розміщення оптичних модулів в консолі на платформі PreFix з жорсткою стабілізацією позиції;

Варіанти робочої конфігурації оптичних модулів на платформі: стандартна і розширена - з можливістю установки дзеркала і монохроматора з високою роздільною здатністю;

Можливість роботи з швидкодіючим детектором X'Celerator (прискорення записи дифрактограм більш ніж в 100 разів);

Застосування: дифрактометрія високого дозволу; дослідження напружень; аналіз текстури; фазовий аналіз; рефлектометрія; аналіз тонких плівок та ін.

2.4 Рентгеноспектральний аналіз

Під рентгеноспектральним мікроаналізом (X-ray microanalysis) розуміють визначення елементного складу мікрооб'єктів за збуджуванням у них характеристичним рентгенівським випромінюванням [29].

Рентгеноспектральний мікроаналіз оснований на тих же принципах, що і «звичайний» емісійний рентгеноспектральний аналіз. Для аналізу характеристичного спектра (characteristic specter) в рентгеноспектральному мікроаналізаторі (РСМА) також використовують два типи спектрометрів (безкристальний або з кристалом-аналізатором). Відмінність РСМА в тому, що збудження первинного випромінювання здійснюється в порівняно малих областях зразка дуже вузьким електронним зондом, подібним до того, що використовується у РЕМ. Тому базою для рентгенівського мікроаналізу служить електронно-оптична система растрового електронного мікроскопа [30].

При взаємодії електронного зонда зі зразком одним з можливих збуджуваних сигналів є рентгенівське випромінювання, яке можна розділити на гальмівне і характеристичне [29].

Гальмівне рентгенівське випромінювання (braking X-ray radiation) виникає внаслідок гальмування первинних електронів в електричному (кулонівському) полі атомів аналізованого матеріалу. Кінетична енергія первинних електронів у цьому випадку частково або цілком перетворюється в енергію рентгенівського випромінювання. Відповідно випромінювання має суцільний спектр з енергією від нуля до енергії падаючого електрона і тому його ще називають суцільним або безперервним рентгенівським випромінюванням [30].

При рентгеноспектральному мікроаналізі гальмівне випромінювання небажане, тому що вносить основний вклад у збільшення рівня фону і не може бути видалене. Це викликає необхідність оптимізації умов збудження випромінювання для одержання найбільш високого співвідношення сигнал/фон і отже, збільшення чутливості приладу [29].

При проникненні первинних електронів у зразок вони гальмуються не тільки електричним полем атомів, але і безпосереднім зіткненням з електронами атомів матеріалу. У результаті цього первинні електрони можуть выбивати електрони з внутрішніх К-, L- чи M-оболонки, залишаючи атом зразка в енергетично збудженому стані. Вакансії, що утворюються, заповнюються переходами електронів з більш високих енергетичних рівнів. Атом переходить в основний стан, надлишкова енергія виділяється у вигляді кванта рентгенівського випромінювання [30].

Оскільки енергія кванта, що виникає, залежить тільки від енергії електронних рівнів, які беруть участь у процесі, а вони є характерними для

кожного елемента, виникає характеристичне рентгенівське випромінювання. Оскільки кожен атом має цілком визначене кінцеве число рівнів, між якими можливі переходи тільки певного типу, характеристичне рентгенівське випромінювання дає дискретний лінійчастий спектр [29].

Якщо можна визначити енергії чи довжини хвиль емітованого спектра, то можна зробити висновки про елементи, що містяться в зразку. Це основа рентгеноспектрального аналізу. Якщо за характеристичним спектром можна визначити інтенсивність ліній елементів (як правило α -ліній) і виміряти їхню інтенсивність, то на цій основі можна виконати кількісний аналіз елементів [30].

Аналіз сучасного обладнання для рентгеноспектрального аналізу:



Рисунок 2.15 Спектрометр Rigaku Simultix 14 [31]

Представлений компанією Rigaku спектрометр Simultix 14, є новітньою версією серед популярних багатоканальних флуоресцентних спектрометричних систем одночасної дії. Simultix 14, створений на основі більш, ніж 30-річного накопиченого досвіду, є найбільш передовою, повністю автоматизованою системою, розробленою в повній відповідності з сучасними аналітичними вимогами високої чутливості, продуктивності і універсальності.

Особливості:

- Аналіз хімічних елементів від Be до U;
- Рентгенівська трубка з торцевих вікном потужністю 3 кВт (опція: 4 кВт) і напругою 60 кВ;
- До 40 фіксованих спектрометричних каналів;
- Сканируючі гоніометри різної конструкції;
- Корекція фону для фіксованих каналів;
- Вигнуті кристали-аналізатори та оптимізований оптичний шлях;

- Компактний дизайн;
- Можливість роботи в оперативному режимі;
- Пристрій для автоматичної зміни зразків на 8 або 48 позицій;
- багатовіконний і багатфункціональне програмне забезпечення фундаментальних параметрів.



Рисунок 2.16 Спектрометр Научприбор МСР-35 [31]

Багатоканальний рентгенівський спектрометр одночасної дії.

Потужний і ефективний прилад для застосування в металургії, гірnodобувній галузі, машинобудуванні, енергетиці для кількісного визначення концентрацій хімічних елементів.



Рисунок 2.17 Спектрометр Rigaku Primus II [31]

Потужний універсальний спектрометр з верхнім розташуванням оптичної системи

- Точний аналіз елементів від берилію (Be) до урану (U);
- Потужна рентгенівська трубка з ультратонким вікном;
- Адаптований до роботи з порошковими пробами;
- Точковий аналіз і картографування.

2.5 Визначення зносостійкості

До основних напрямків підвищення зносостійкості деталей вузлів тертя машин відносять: оптимізацію конструктивних рішень вузлів тертя в процесі розроблення й проектування машин, тобто, так званий, конструктивний фактор (напрямок); технологічні методи; експлуатаційні заходи.

Оптимізація конструктивних вирішень вузлів тертя. Конструкція виробу визначає структуру виробництва і його технологію, трудомісткість і матеріаломісткість виробу, тобто економічність виробу у виробництві й експлуатації перш за все залежить від конструкції. Тому конструктор разом із технологом у процесі розроблення й проектування машини (виробу) в першу чергу повинен займатися відпрацюванням конструкції машини на технологічність [32].

Технологічність конструкції виробу – це сукупність конструктивних і технологічних вирішень, які забезпечують використання прогресивної технології й організації виробництва з найменшими затратами часу і матеріалів, які при заданих масштабах виробництва забезпечують найменшу собівартість і високу якість виробу за умови використання машиною всіх її функцій [32].

Мабуть першим серед конструкторів, хто звернув увагу на зв'язок зносостійкості з конструкцією вузлів тертя, був П.І. Орлов. В його праці "Смазка легких двигателів" (1937р.), що стала бібліографічною рідкістю, міститься цінний матеріал для конструкторів з питань конструктивних форм підшипників, конструювання високозносостійких опор ковзання, теорії тертя кочення. Вона по сьогодні не втратила цінності як в частині яскравих конструкторських прийомів, які шляхом раціонального використання мастила у вузлах машин забезпечують високу надійність деталей, що труться, так і в твердженні, що в питаннях конструювання, й особливо в техніці, змащування "дрібниць", наприклад, витікання масла з ущільнювачів, підвищених витрат при викиді масла з суфлерів і тому подібне, не повинно бути, бо це затримує створення нових машин і утруднює роботу обслуговуючого персоналу при експлуатації діючих. В інших його трьох книжках із конструювання машин приділено багато уваги також резервам надійності і довговічності при конструюванні машин, наголошено на провідній ролі конструктора у вирішенні питань зносостійкості й довговічності машин [33].

У роботах М.М. Тененбаума, починаючи з 1966р., проводиться систематизація конструктивних способів забезпечення високої зносостійкості машин. Усі відомі способи розділено на такі групи: виключення зовнішнього тертя; покращення умов тертя; рівностійкість деталей, що зношуються;

оптимізація форм деталей; індикатори зношування. М.М. Тененбаум у своїх роботах наголошує, що розв'язання прикладних задач повинно базуватися на закономірностях динаміки зношування деталей і впливу конструктивних параметрів на їх зносостійкість [32].

До конструктивних способів усунення пошкоджень і підвищення зносостійкості деталей машин Б.І. Костецький відніс такі:

- вибір виду тертя в опорах;
- визначення форми і розмірів робочих поверхонь;
- розроблення засобів із регулювання температури;
- раціональне поєднання матеріалів складових елементів вузла тертя;
- вибір системи змащування;
- наявність агрегатів і устаткування для очищування повітря і змащувального матеріалу, а також ущільнень;
- забезпечення технологічності ремонту і заміни зношених деталей і вузлів;
- розроблення заходів із захисту вузлів тертя від попадання абразиву та інших забруднень;
- правильний вибір матеріалу і методу зміцнення для пар тертя.

Основним принципом, як вказував у своїх працях Б.І.Костецький, який повинен бути в основі проектування й розрахунку форми і розмірів деталей пар тертя, є забезпечення в гарантованому діапазоні швидкостей ковзання і навантажень режиму нормального (окисного) зношування. Для цього необхідно керуватися відомими закономірностями того або іншого виду зношування залежно від швидкості ковзання й нормального тиску для вибраних матеріалів і середовищ, а також даних про вплив розмірів пар тертя (масштабного фактора) на вид зношування і його інтенсивність [33].

Другим принциповим завданням боротьби зі зношуванням і налагоджуванням є зменшення інтенсивності окисного зношування. Ці два принципові завдання доповнюють одне одного і їх сумісне вирішення забезпечує збільшення термінів служби і надійності роботи машин. Очевидно, що при цьому повинен бути використаний весь комплекс конструктивних, технологічних і експлуатаційних заходів [32].

Технологічні методи підвищення зносостійкості деталей. У виробництві і техніці відомі й використовуються багаточисельні технологічні способи для підвищення зносостійкості деталей. Основні технологічні заходи, що підвищують зносостійкість і довговічність машин, можна розділити на такі групи:

1. Застосування сучасних методів для створення матеріалів необхідної міцності для різних умов експлуатації машин і отримання з них заготовок високої якості, близьких за формою і розмірами до готових деталей.

2. Застосування сучасних технологічних прийомів, що забезпечують виготовлення деталей заданої точності і стабільності як за розмірами, так і за фізико-механічними властивостями.
3. Застосування сучасних методів контролю якості матеріалів, заготовок і готових виробів за відповідними показниками надійності.
4. Застосування процесів зміцнюючої обробки (технології) для отримання необхідної якості робочих поверхонь деталей машин з високим опором зношуванню і поломкам у різних умовах експлуатації.

Методи зміцнюючих технологій для підвищення зносостійкості деталей машин накопичували протягом багатьох десятиріч розвитку машинобудування.

Серед найбільш розповсюджених необхідно назвати такі [32]:

- хіміко-термічна обробка: цементування, азотування, хромування;
- ціанування, силіціювання, алітування, сульфоціанування і сульфідкування та ін.;
- термічна обробка: поверхневе гартування полум'ям, високочастотне гартування, поверхневе гартування з нагрівом в електроліті, лазерне зміцнення;
- хімічна обробка: глибоке анодування, оксидування, фосфатування;
- поверхневе пластичне деформування: обкатка кульками і твердосплавними роликками, шротоструменева обробка, алмазне вигладжування, зміцнення чеканкою, гідрополірування, обробка поверхні вибуховим навантаженням;
- гальванічні покриття: хромування, нікелювання, залізнення, борування, радіювання, посрібнення, луження, свинцювання і покриття сплавами;
- хімічні покриття: нікелювання, хромування, покриття кобальтом і сплавами нікель–кобальт;
- способи надання поверхні антифрикційних властивостей: графітування, накатування (заглиблення канавки), нанесення покриттів у вакуумі, нанесення дисульфиду молібдену, фрикційне латунювання і бронзування – ФАБО (фінішна антифрикційна безабразивна обробка), покриття пластмасами (вихровий і газополуменевий методи), металізація напиленням;
- наплавлення: електродугове, електрошлакове, вібродугове;
- електроіскрове зміцнення тощо.

Експлуатаційні заходи підвищення зносостійкості і довговічності машин. Конструктивна досконалість і висока якість виготовлення машин, що не гарантують їх тривалу і безаварійну роботу. Додатковими умовами такої роботи є

грамотна технічна експлуатація і доцільна система технічного обслуговування і ремонтів [33].

Завданнями технічної експлуатації є: забезпечення справного технічного стану машин під час їх експлуатації і консервації; забезпечення безаварійної роботи машин за належної її економічності. Рівень технологічної експлуатації машин, в загальному, визначається встановленням її у відповідності з призначенням, кваліфікацією обслуговуючого персоналу, постановкою догляду за машинами і технічного нагляду за ними, організацією змащувального господарства.

В останні роки поряд з технологічними методами, які забезпечують високу якість поверхні і задані властивості поверхневих шарів, отримали розвиток методи підвищення якості поверхонь безпосередньо при експлуатації машин [32].

Особливо ефективним напрямком є організація вторинних захисних структур на поверхні тертя внаслідок застосування спеціальних присадок до змащувальних матеріалів і механізмів взаємодії їх з металом поверхневих шарів у процесі деформації при терті [33].

Класифікація методів вимірювання зношування

Існують різні методи вимірювання зношування від найпростіших, коли звичайними засобами вимірюють розміри деталей, що зношуються, до методів, які використовують в ядерно-фізичних процесах.

Область застосування тих чи інших методів вимірювання зношування визначають: поставлену мету досліджень, необхідну точність вимірювань, можливість вимірювання малого зношення, час, необхідний для вимірювання зношування, можливість вимірювання зношування в умовах експлуатації без розбирання, а в ряді випадків – без зупинки машини, затратами часу і засобами, необхідними для всього циклу підготовки [33].

Для вимірювання зношування можна застосовувати як інтегральні, так і диференційні методи оцінювання. В ряді випадків застосовують також методи оцінювання зношування за вихідними параметрами виробу чи спряження.

В свою чергу інтегральні методи вимірювання зношення поділяють на: А – методи вимірювання, що базуються на оцінюванні сумарного зносу; і Б – методи вимірювання, що базуються на аналізі продуктів зношування у змащувальному середовищі [32].

До різновидностей методу А – вимірювання, що базуються на оцінюванні сумарного зносу, відносять:

- за зміною маси зразка;
- за зміною об'єму зразка;
- за заміром зазору в спряженні.

До різновидностей методів вимірювання, що базуються на аналізі продуктів зношування в змащувальному середовищі, відносять спектральний аналіз і дослідження за допомогою радіоактивних ізотопів.

Диференційні методи дозволяють визначати розподіл зношування по всій поверхні тертя і оцінити вплив нерівномірності зношування на вихідні параметри виробу [33].

Диференційні методи поділяють на методи вимірювання, що базуються на мікрометрії, метод штучних баз і метод поверхневої активації.

До методу вимірювання, що базується на мікрометрії, відносять:

- вимірювання розмірів;
- профілографування.

Різновидами методу штучних баз є такі:

- метод відбитка;
- метод лунок;
- метод зліпка.

До різновидів методу поверхневої активації відносять:

- метод активації частини ділянки;
- застосування вставок.

Методи вимірювання вихідних параметрів спряження поділяють за вимірюванням:

- коефіцієнта тертя;
- витрати мастила;
- температури.

Вимірювання величини зношування за зменшенням ваги чи об'єму деталі застосовують, як правило, при дослідженні зразків. Цей метод малоприматний для більшості деталей машин.

Оцінювання зношування за зміною вихідних параметрів спряження дає лише побічну уяву про величину зношування [32].

Сучасне обладнання для визначення зносостійкості



Рисунок 2.18 Трибометр ТЕ-77 [35]

Високочастотна машина тертя ТЕ 77 - це гнучкий зворотно-поступальний трибометр з максимальною довжиною пробігу в 25 мм і максимальним навантаженням в 1000 Н. Вона відмінно зарекомендувала себе в якості науково-дослідного приладу для аналізу мастил, покриттів і якості обробки поверхні.

За допомогою трібомашини ТЕ 77 можна домогтися ковзаючого контакту для величезного числа різних деталей. Зразки можуть бути як стандартної форми, так і являти собою зрізані частини реальних деталей, що дає можливість досліджувати не тільки якість обробки поверхні, але і багато інших властивостей.

Машина тертя ТЕ 77 використовувалася при проведенні міжлабораторних аналізів при розробці стандарту ASTM G 133 "Стандартна методика аналізу площинного змінного зносу при лінійному зворотно-поступальному русі кульки", яка призначена для вимірювання зносу кераміки, металів і керамічних композитів в сухому і змащеному стані. Також даний прилад використовувався при розробці

стандарту ASTM G 181 "Стандартна методика для проведення аналізу на тертя матеріалів поршневого кільця і втулки циліндра в змащеному стані".



Рисунок 2.18 Трибومتر TE-77 [35]

Роторний трибومتر з мікропроцесорним управлінням TE 92 являє собою багатоцільову машину для випробування матеріалів і мастил. Пристрій має Колінеарні осі обертання і навантаження і відкриту платформу для випробувань, що дозволяє проводити випробування в різних конфігураціях, в тому числі що відповідають міжнародним стандартам.

Має наступні модифікації: TE 92HS - високошвидкісний роторний трибومتر з мікропроцесорним управлінням, TE 92DL - чотирьохкулькові трибومتر, TE 92HP - роторний трибومتر з мікропроцесорним управлінням підвищеної потужності, TE 92HPHS - високошвидкісний роторний трибومتر з мікропроцесорним управлінням підвищеної потужності.

ВИСНОВКИ

Раціональний вибір сучасних методів дослідження обумовлений необхідністю отримання достовірної картини про властивості як матеріалу в цілому так і отриманих покриттів. При цьому також потрібно враховувати економічну доцільність проведення тих чи інших випробувань.

Для дифузійних покриттів найбільш характерними є методи визначення твердості (мікротвердості), зносостійкості та хімічного і фазового складу.

Сучасні методи досліджень дозволяють максимально точно визначити властивості матеріалів та їх будову.

САНД

РОЗДІЛ 3 ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Об'єкт досліджень

Об'єктом досліджень є технологічний процес хіміко-термічної обробки для отримання захисних зносостійких поверхневих шарів.

Для нанесення покриттів методом хіміко-термічної обробки було підібрано інструмент з різноманітних марок сталі.

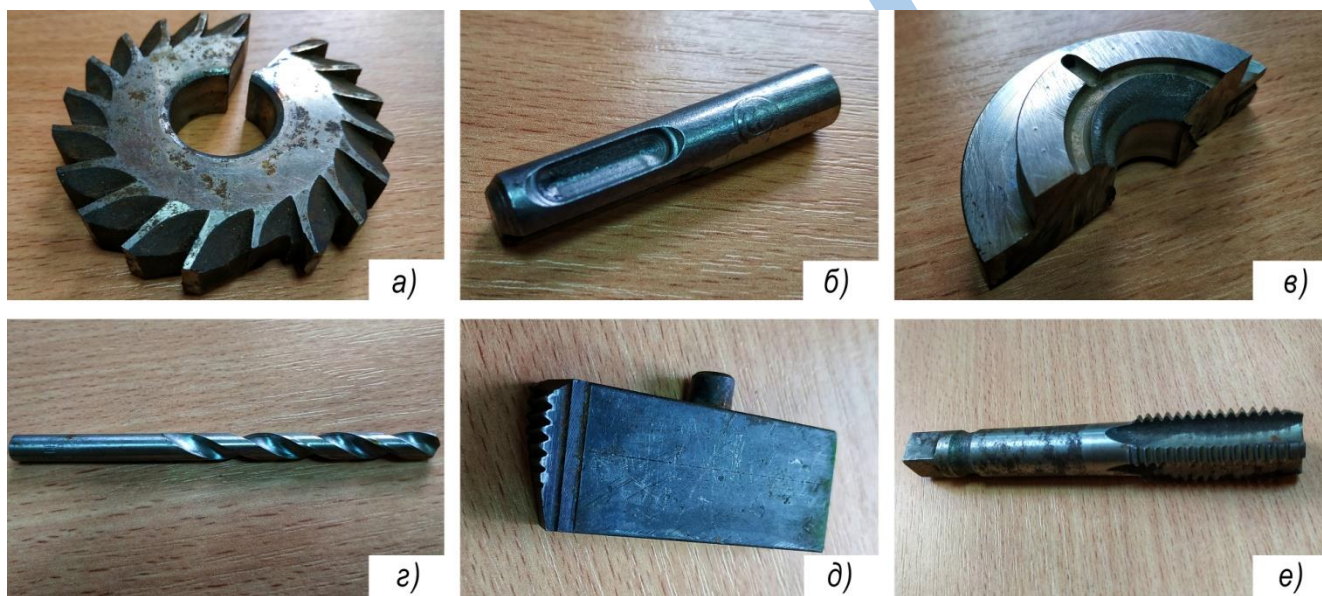


Рисунок 3.1 Металообробний інструмент

а) Фреза; б) Хвостовик зубила перфоратора; в) Штамп холодного деформування;
г) Свердло; д) Різьбонарізна плашка; е) Мітчик.

Відповідно до обраного металорізального інструменту були виготовлені зразки з наступних марок сталі: У12А, 9ХС, Х12Ф, Р6М5, ХВСТ.

Для вибору оптимальних технологічних параметрів хіміко-термічної обробки необхідно провести аналіз зазначених марок сталі. Хімічний склад усіх обраних марок сталі наведено в таблиці 3.1

Таблиця 3.1

Хімічний склад обраних марок сталей у % [35-38]

Сталь	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	W	V	Co
У12А	1.1 - 1.29	0.17 - 0.33	0.17 - 0.28	до 0.25	до 0.018	до 0.025	до 0.2	-	-	-	-
9ХС	0.85 - 0.95	1.2 - 1.6	0.3 - 0.6	до 0.4	до 0.03	до 0.03	0.95 - 1.25	до 0.2	до 0.2	до 0.15	-
Х12Ф	2 - 2.2	0.1 - 0.4	0.15 - 0.45	до 0.4	до 0.03	до 0.03	11.5 - 13	до 0.2	до 0.2	до 0.8	-
Р6М5	0.82 - 0.9	0.2 - 0.5	0.2 - 0.5	до 0.6	до 0.025	до 0.03	3.8 - 4.4	4.8 - 5.3	5.5 - 6.5	1.7 - 2.1	до 0.5
ХВСГ	0.95 - 1.05	0.65 - 1	0.6 - 0.9	до 0.25	до 0.03	до 0.03	0.6 - 1.1	-	0.5 - 0.8	0.05 - 0.15	-

Температури критичних точок:

У12А – $A_{c1} = 730^{\circ}\text{C}$, $A_{c3} = 820^{\circ}\text{C}$, $A_{r1} = 700^{\circ}\text{C}$, $M_n = 200^{\circ}\text{C}$

9ХС – $A_{c1} = 770^{\circ}\text{C}$, $A_{c3} = 870^{\circ}\text{C}$, $A_{r1} = 730^{\circ}\text{C}$, $M_n = 160^{\circ}\text{C}$

Х12Ф – $A_{c1} = 810^{\circ}\text{C}$, $A_{c3} = 835^{\circ}\text{C}$, $A_{r3} = 770^{\circ}\text{C}$, $A_{r1} = 755^{\circ}\text{C}$, $M_n = 180^{\circ}\text{C}$

Р6М5 – $A_{c1} = 815^{\circ}\text{C}$, $A_{r1} = 730^{\circ}\text{C}$

ХВСГ – $A_{c1} = 770^{\circ}\text{C}$, $A_{c3} = 875^{\circ}\text{C}$, $A_{r1} = 720^{\circ}\text{C}$, $M_n = 200^{\circ}\text{C}$

Зміна температур фазових перетворень у легованих сталях насамперед пов'язана з впливом легуючих елементів на алотропні форми заліза. Усі елементи, що розчиняються в залізі, змінюють температурний інтервал існування його алотропних модифікацій, тобто зсовують критичні точки А3 і А4.

Елементи першої групи (нікель, манган, мідь, кобальт, вуглець, азот та ін.) розширюють межі стійкого стану аустеніту. Вони підвищують температуру, що відповідає точці А4, і знижують температуру, яка відповідає точці А3.

Елементи другої групи (хром, ванадій, молібден, вольфрам, кремній, алюміній, титан та ін.) підвищують температуру, яка відповідає точці А3, і знижують температуру, яка відповідає точці А4 [39].

3.2 Результати мікроструктурного аналізу

Мікроструктура сталей представлена на рисунку 3.2 – 3.5

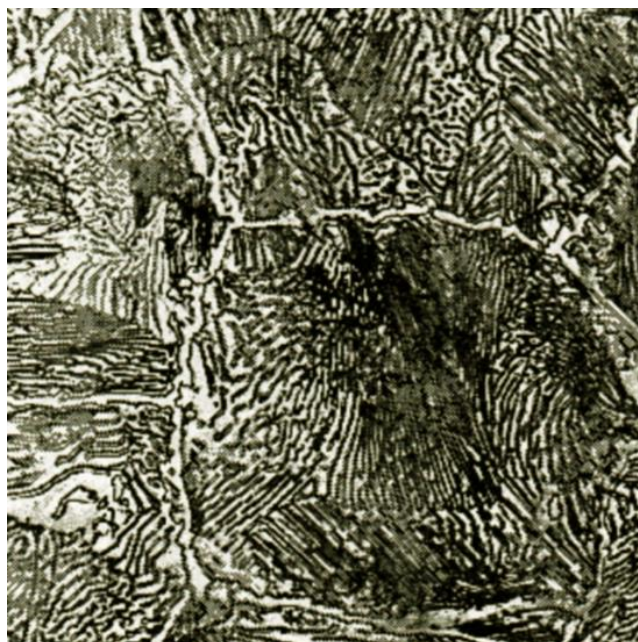


Рисунок 3.2 Мікроструктура сталі У12А, х500

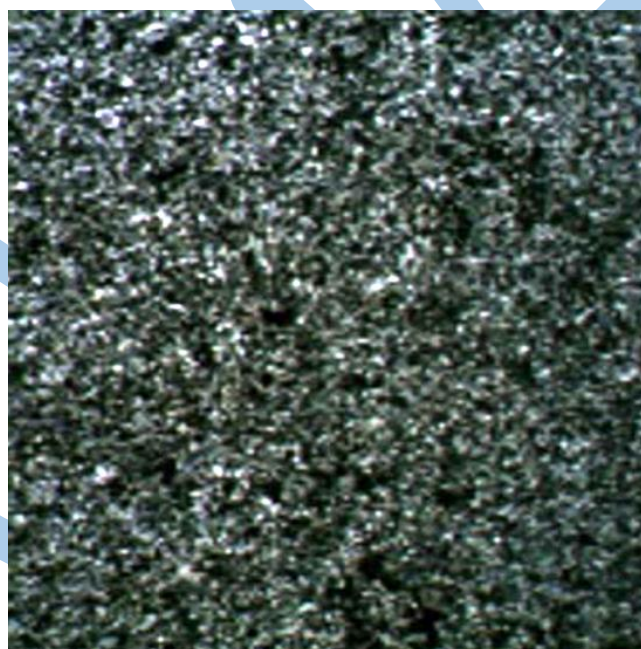


Рисунок 3.3 Мікроструктура сталі 9ХС, х500

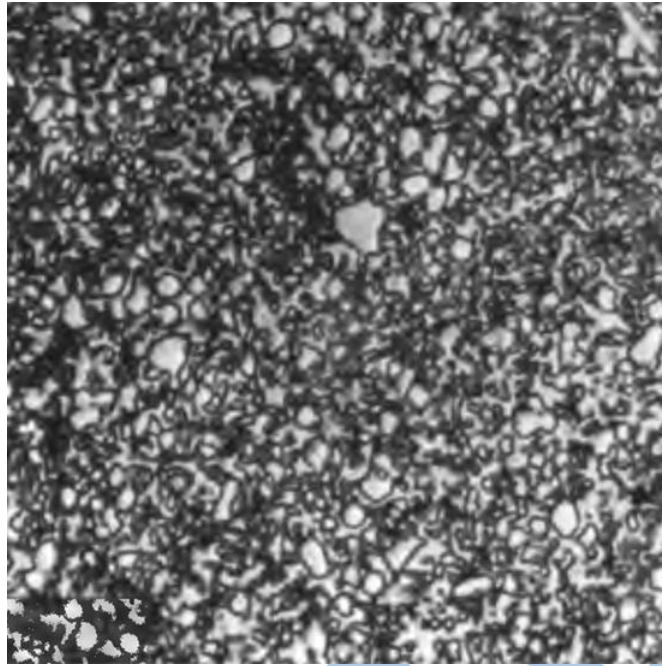


Рисунок 3.4 Мікроструктура сталі X12Φ, x500

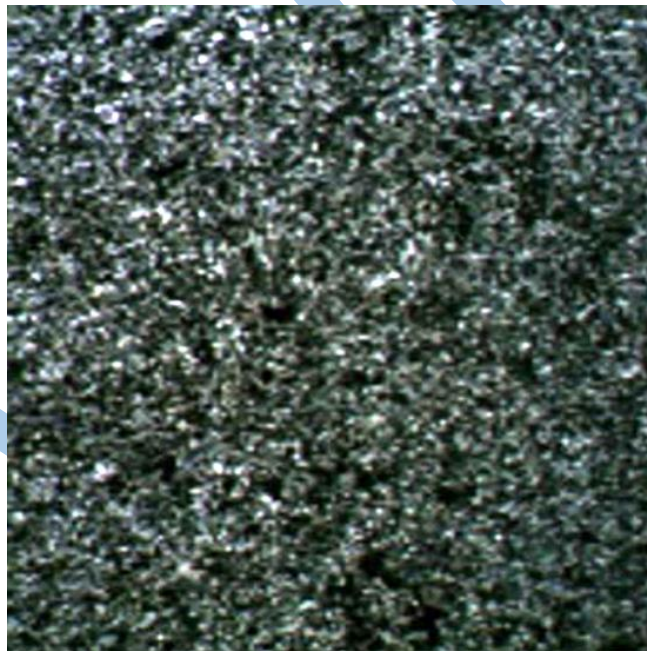


Рисунок 3.5 Мікроструктура сталі P6M5, x500

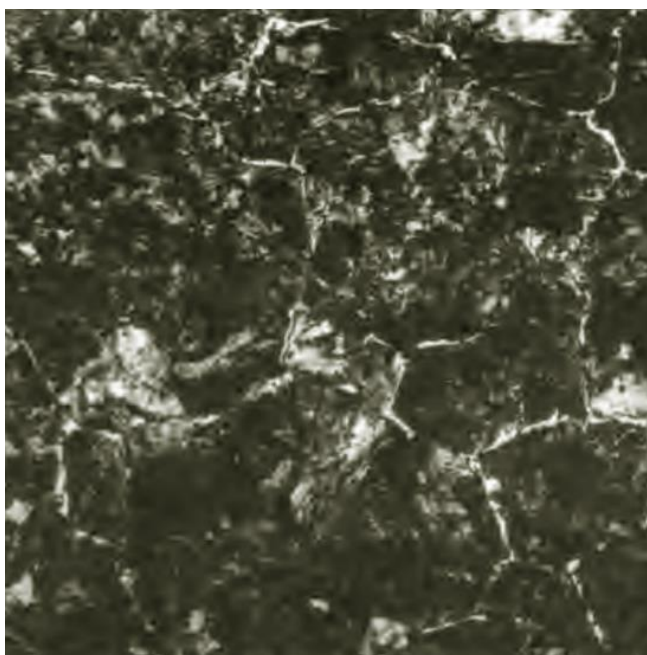


Рисунок 3.6 Мікроструктура сталі ХВСГ, х500

3.3 Результати вимірювання твердості

Вимірювання твердості після відпалу (ізотермічного відпалу) проводили на приладі Брінелля при навантаженні 3000 кг (30 000Н). Результати наведені в таблиці 3.2

Таблиця 3.2

Твердість інструментальних сталей після відпалу (ізотермічного відпалу)

Марка сталі	Значення твердості, НВ (вим. 1)	Значення твердості, НВ (вим. 2)	Значення твердості, НВ (вим. 3)	Середнє значення, НВ
У12А	210	215	218	214
9ХС	250	235	240	241
Х12Ф	260	258	265	261
Р6М5	280	265	286	277
ХВСГ	258	265	265	262

Отримані результати приблизно співпадають з довідковими даними для зазначених марок сталей. Деяко підвищену твердість можна пояснити скороченим часом витримки, що було зроблено з метою зменшення енергетичних витрат в лабораторних умовах.

Вимірювання твердості після гартування та відпуску проводили на приладі Роквелла за шкалою HRC. Результати вимірювання твердості наведені в таблиці 3.3

Таблиця 3.3

Твердість інструментальних сталей після гартування та відпуску

Марка сталі	Значення твердості, HRC (вим. 1)	Значення твердості, HRC (вим. 2)	Значення твердості, HRC (вим. 3)	Середнє значення, HRC
У12А	62	58	61	60
9ХС	58	58	56	57
Х12Ф	62	64	62	63
Р6М5	64	63	65	63
ХВСГ	56	58	56	57

Після стандартної термічної обробки для інструменту було застосовано хімічне оксидування.

Хімічне оксидування — обробка розплавами або розчинами окиснювачів, таких як хромати, нітрати тощо, переважно, для захисту від корозії або створення покриттів декоративного призначення на поверхні чорних та кольорових металів і сплавів [40].

Хімічне оксидування чорних металів проводять в кислотних (кислотне воронування) або лужних (лужне воронування) розчинах за температури 30...100 °С. Зазвичай використовують суміші соляної, нітратної або ортофосфатної кислот з додаванням сполук $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ тощо. Лужне оксидування проводять у розчині лугу з додаванням окиснювачів за температур 30...180 °С. Оксидні плівки на поверхні чорних металів отримують також у розплавах, що складаються з лугу NaNO_3 та NaNO_2 , MnO_3 при температурах 250...300 °С. Після оксидування вироби промивають, сушать й інколи піддають обробці в окиснювачах ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) або промаслюють [40].

Оксидування дозволяє підвищити опір атмосферній корозії та зменшити коефіцієнт тертя.

Таблиця 3.4

Твердість інструментальних сталей після оксидування

Марка сталі	Значення твердості, HRC (вим. 1)	Значення твердості, HRC (вим. 2)	Значення твердості, HRC (вим. 3)	Середнє значення, HRC
У12А	60	58	60	59
9ХС	56	58	58	57
Х12Ф	63	64	65	64
Р6М5	64	64	60	62
ХВСТ	54	56	56	55

3.4 Результати випробовування на зносостійкість

Випробовування на зносостійкість проводилися на токарно-гвинторізному верстаті. На верстат була встановлена приспособа для постійного навантаження. В якості контр тіла виступав стрижень з твердого сплаву ВК8.

Для визначення зносу був використаний ваговий метод. Він полягає в зважуванні на аналітичних вагах зразків до і після випробовувань.

Перед зважуванням зразки ретельно промивалися, просушувалися, після проведення випробувань з них змивали продукти зносу, змазки та ін.

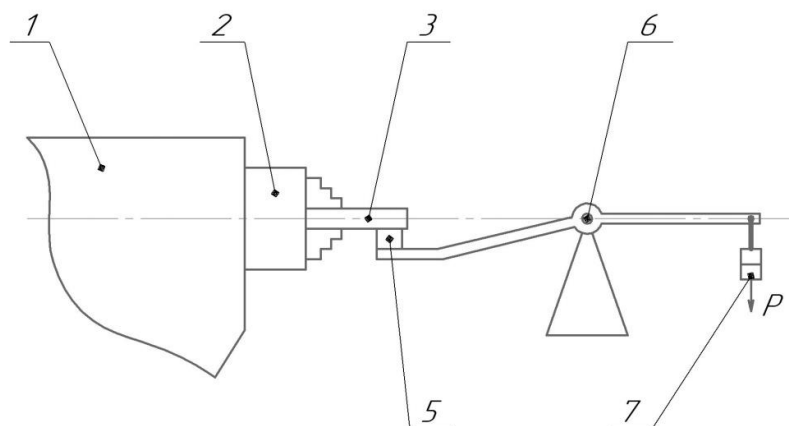


Рисунок 3.7 Схема приспособи

- 1 – токарно-гвинторізний верстат; 2 – трикулачковий патрон; 3 – контр тіло;
4 – місце контакту; 5 – зразок; 6 – шарнір; 7 – груз.

Таблиця 3.5

Відносна зносостійкість зразка (час випробування 2 год.)

Матеріал	Маса до випробування, г	Маса після випробування, г	Δm , г
У12А	18,354	18,309	0,045
У12А+окс.	16,652	16,616	0,036
9ХС	25,365	25,323	0,042
9ХС+окс.	23,521	23,483	0,038
Х12Ф	12,363	12,338	0,025
Х12Ф+окс.	15,298	15,280	0,018
Р6М5	18,621	18,596	0,025
Р6М5+окс.	20,425	20,408	0,017
ХВСГ	22,628	22,588	0,040
ХВСГ+окс.	22,398	22,366	0,032

ВИСНОВКИ

Технологічна операція хімічного оксидування дозволяє підвищити зносостійкість інструментальних матеріалів, а також підвищити їх корозійну стійкість.

Візуально, після хімічного оксидування, поверхня виробу набуває темного забарвлення. При дослідженні мікроструктури виявити окремий оксидний шар не вдається в наслідок його малої товщини.

Результати з дослідження твердості показують не зростання, а навіть дещо незначне зниження цих показників. Скоріш за все зносостійкість матеріалу збільшується за рахунок зменшення коефіцієнту тертя та підвищення стійкості до корозійних процесів.

РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунок економічної ефективності

Оцінка економічної ефективності результатів науково-дослідної кваліфікаційної магістерської роботи 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 [41].

Для визначення технологічної собівартості проводиться розрахунок окремих елементів витрат [42].

Вартість матеріалу зразка визначаємо за формулою 4.1:

$$C_m = (Q \cdot C_m) \cdot a, \quad (\text{грн.}) \quad (4.1)$$

де, Q – норма витрати матеріалу (маса заготовки), кг;

$Q_{\text{зразка}} \sim 0,02$ кг. (враховуючи 6 зразків для кожного матеріалу 0.12 кг)

C_m – ціна матеріалу заготовки в грн.:

У12А – 20 грн./кг.

9ХС – 80 грн./кг.

Х12Ф – 130 грн./кг.

Р6М5 – 160 грн./кг.

ХВСГ – 100 грн./кг.

a – коефіцієнт, що враховує витрати на термообробку (умовно приймаємо 1,6).

Для досліджуваних зразків вартість матеріалу прокату буде відповідно:

$$C_m = (0.12 \cdot 20) \cdot 1.6 = 3,84 \text{ (грн.)}$$

$$C_m = (0.12 \cdot 80) \cdot 1.6 = 15,36 \text{ (грн.)}$$

$$C_m = (0.12 \cdot 130) \cdot 1.6 = 24,96 \text{ (грн.)}$$

$$C_m = (0.12 \cdot 160) \cdot 1.6 = 30,72 \text{ (грн.)}$$

$$C_m = (0.12 \cdot 100) \cdot 1.6 = 19,2 \text{ (грн.)}$$

Сумарна ціна матеріалу на зразки – 94,08 грн. Приймаємо 100 грн.

Основна і додаткова зарплата виробничого робітника з відрахуваннями на соціальне страхування та до інших фондів (за виконувану операцію) розраховуємо за формулою 4.2:

$$Z_p = C_q \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \frac{t_{\text{ум}}}{60} \cdot K_{\text{мн}} \cdot n, \quad (\text{грн.}) \quad (4.2)$$

де, C_v – годинна тарифна ставка відповідного розряду, грн. (приймаємо III розряд: ставка 30 грн./год.);

K_1 – коефіцієнт, що враховує додаткову зарплату (приймаємо $K_1 = 1,5$);

K_2 – коефіцієнт, що враховує багатостаттєве обслуговування (приймаємо $K_2 = 1,5$);

$t_{шт.}$ – час на операцію для однієї заготовки (партії зразків всіх марок), хв.;

$K_{мн}$ – коефіцієнт, що враховує обслуговування кількома одиницями обладнання; приймаємо $K_{мн} = 1$;

n – кількість одиниць обладнання на даній операції, шт.

Термічна обробка зразків без оксидування:

$$Зр = 30 \cdot 1,5 \cdot 1,5 \cdot (900/60) \cdot 1 \cdot 1 = 1012,5 \text{ (грн.)}$$

Із розрахунку 10 садок на рік 10 125 грн.

Термічна обробка зразків з оксидуванням:

$$Зр = 30 \cdot 1,5 \cdot 1,5 \cdot (1050/60) \cdot 1 \cdot 1 = 1181,25 \text{ (грн.)}$$

Із розрахунку 10 садок на рік 11 812,5 грн.

Амортизаційні відрахування по обладнанню, віднесені на даний метод розраховуємо за формулою 4.3:

$$A_0 = \frac{S_0 \cdot K \cdot a \cdot n}{N_{год.} \cdot 100} \quad (4.3)$$

де, S_0 – вартість одиниці обладнання, грн.; Печі для термічної обробки ~ 350 000 грн.; Печі для термічної обробки та пристосування ~ 450 000 грн.

K – коефіцієнт, що враховує витрати на транспортування і монтаж устаткування; приймаємо $K = 1,15$;

a – норма амортизаційних відрахувань (5% від вартості обладнання);

n – кількість одиниць обладнання на даній операції, 1 шт.;

$N_{год.}$ – річна програма експериментальних зразків, шт. (приймаємо 150 шт.), плюс виконання виробничих задач (приймаємо 10 000 шт.)

Термічна обробка зразків без оксидування:

$$A_0 = (350\,000 \cdot 1,15 \cdot 17500 \cdot 1) / (10\,000 \cdot 100) = 7\,437 \text{ (грн.)}$$

Термічна обробка зразків з оксидуванням:

$$A_0 = (450\,000 \cdot 1,15 \cdot 22500 \cdot 1) / (10\,000 \cdot 100) = 11\,643 \text{ (грн.)}$$

Витрати на ремонт обладнання приймаємо укрупнено пропорційно величині амортизаційних відрахувань і розраховуємо за формулою 4.4:

$$B_p = A_0 \cdot K, \text{ (грн)} \quad (4.4)$$

де, K – коефіцієнт, що встановлює залежність величини витрати на ремонт від величини амортизаційних відрахувань (приймаємо 15%)

Термічна обробка зразків без оксидування:

$$B_p = 7\,437 \cdot 1.15 = 8\,553 \text{ (грн.)}$$

Термічна обробка зразків з оксидуванням:

$$B_p = 11\,643 \cdot 1.15 = 13\,390 \text{ (грн.)}$$

Витрати на силову електроенергію для даних методів розраховуємо за формулою 4.5:

$$B_E = [K_t \cdot N_y \cdot (t_{умт} - t_{маши}) + K_2 \cdot N_y \cdot t_{маши}] \cdot \frac{S_E}{60}, \text{ (грн)} \quad (4.5)$$

де, N_y – сумарна встановлена потужність одиниці обладнання, кВт;

K_1 – коефіцієнт, що враховує використання встановленої потужності, що витрачається при ненапруженій роботі обладнання (приймаємо $K_1 = 0,4$);

K_2 – коефіцієнт використання встановленої потужності устаткування в процесі термообробки (приймаємо $K_2 = 0,8$);

$t_{умт}$ – час на операцію для однієї заготовки (партії), хв.;

$t_{маши}$ – машинний час на операцію, хв. (приймаємо 0,15 хв.);

S_E – вартість одного кВт/год. електроенергії, грн. (приймаємо 2 грн.).

Термічна обробка зразків без оксидування:

$$B_E = [0.4 \cdot 40 \cdot (900 - 0.15) + 0.8 \cdot 40 \cdot 0.15] \cdot (2/60) = 475,3 \text{ (грн.)}$$

Термічна обробка зразків з оксидуванням:

$$B_E = [0.4 \cdot 40 \cdot (1050 - 0.15) + 0.8 \cdot 40 \cdot 0.15] \cdot (2/60) = 554,5 \text{ (грн.)}$$

Витрати на допоміжні матеріали для кожного методу розраховуємо за формулою 4.6:

$$B_M = \frac{M \cdot n}{N_{рiч}}, \text{ (грн)} \quad (4.6)$$

де, M – річні витрати на допоміжні матеріали, на одиницю устаткування;

n – кількість одиниць обладнання, шт.;

$N_{рiч}$ – річна програма деталей, шт.

Витрати враховані у вартості обладнання.

Витрати на утримання виробничої площі розраховуємо за формулою 4.7:

$$P_{умр} = \frac{S_{пл} \cdot K \cdot n \cdot P}{N_{рiч}}, \text{ (грн)} \quad (4.7)$$

де, $S_{пл}$ – площа, безпосередньо, яку займає одиниця обладнання, м²;

K – коефіцієнт, що враховує додаткову площу під проходи і проїзди;

n – кількість одиниць обладнання, шт.;

P – річна норма витрат за утримання одного метра квадратного виробничої площі, грн. (приймаємо 300 грн.);

$N_{річ.}$ – річна програма зразків, шт.

Витрати на утримання виробничої площі ТО без оксидування:

$$(5 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 300) / 5\,000 = 2,7 \text{ (грн.)}$$

Витрати на утримання виробничої площі ТО з оксидуванням:

$$(5 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 300) / 5\,000 = 3,6 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 4.1

Технологічна собівартість термічної обробки інструментальних сталей, грн.

Найменування елементів витрат	ТО	
	Без оксидування	З оксидуванням
Вартість матеріалу	100 грн.	
Основна і додаткова заробітна плата робітника за рік (Z_p)	10 125 грн.	11 812,5 грн.
Амортизаційні відрахування по обладнанню (A_0)	7 437 грн.	11 643 грн.
Витрати на ремонт обладнання (B_p)	8 553 грн.	13 390 грн.
Витрати на силову електроенергію (B_E)	475,3 грн.	554,5 грн.
Витрати на утримання виробничої площі ($P_{утр}$)	2,7 грн.	3,6 грн.
Загальна сума	26 693	37 503,6

ВИСНОВКИ

За отриманими розрахунками щодо проведення оксидування на дослідних зразках можна побачити, що процес майже в 1,5 рази дорожчий ніж базова ТО.

Результати вимірювання зносостійкості зразків показують її підвищення також в 1.5 рази, що безумовно вплине на підвищення експлуатаційних властивостей ріжучого інструменту.

Тому на даному етапі досліджень складно скласти повноцінне уявлення щодо доцільності впровадження процесу оксидування в технологічний процес. Потрібно провести промислові випробування для отримання більш достовірного результату.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ, НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

5.1 Загальні положення

Сучасне суспільство характеризується високим рівнем використання технічних засобів, призначених для задоволення життєвих потреб людини. Сучасні технічні засоби стають усе більш енергоємними й автоматизованими. Однак усе ще ключовим елементом на виробництві залишається людина, яка покликана обслуговувати, керувати, контролювати технічні системи і технологічні процеси [43].

Діяльність людини є основою його існування. На трудову діяльність на виробництві, в побуті припадає не менше 50% життя людини. І в той же час у процесі трудової діяльності людина піддається найбільшій небезпеці. Трудова діяльність на виробництві (виробнича діяльність) характеризується найбільшим рівнем небезпеки, тому що сучасне виробництво насичене різними енергоємними технічними засобами [44].

Аналіз виробничих аварій, травм, нещасних випадків, професійних захворювань показує, що основною причиною їх є невиконання вимог безпеки, незнання людиною техногенних небезпек і методів захисту від них. Причому людський фактор у багатьох випадках є основною причиною виникнення небезпек [45].

Складні виробничі умови, пожежі, вибухи, аварії та інші причини призводять до того, що в світі на виробництві щорічно реєструється до 50 млн. нещасних випадків, внаслідок яких гине більш ніж 250 тис. працездатного населення (в Україні більше 1000 чоловік за рік) та щосекунди травмуються 2 людини. Внаслідок несприятливих умов праці, тільки в Україні на виробництві щорічно виявляється від 5 до 8 тис. професійних захворювань. Крім того, шкідливі чинники виробничого середовища є причиною виникнення незрівнянно більшої кількості різноманітних загальних захворювань [46].

Останнім часом в Україні поступово зменшується кількість нещасних випадків та зумовлених ними травм, але в той же час спостерігаються негативні тенденції зростання професійних захворювань, що пов'язано з подальшим погіршенням умов праці, старінням та зношеністю машин, механізмів, будівель, споруд, несвоєчасним їх ремонтом та обслуговуванням тощо [44].

З іншого боку, аналіз нещасних випадків на виробництві виявив, що основними їх причинами в Україні є організаційні (до 60%), а це перш за все зумовлено низьким рівнем управління, відсутністю необхідних знань з охорони праці, умінь та навичок безпечної праці, належного контролю за станом

виробничого середовища, прогалинами правового регулювання трудових відносин тощо. Право на охорону праці має кожна людина і гарантується Конституцією України та низкою законів. Це право регулюється нормами, правилами безпеки, діями державних та відомчих органів, фахівцями в галузі безпеки [45].

Загальні вимоги до виробничих будинків і приміщень [47]:

Виробничі будинки термічних цехів, що стоять окремо, а також термічних цехів і ділянок у загальному комплексі з іншими цехами слід розміщати відносно житлової забудови з підвітряної сторони для вітрів переважного напрямку і будувати з вогнестійкого матеріалу на відстані від житлової забудови, визначеній розрахунком розсіювання шкідливих речовин, але не менше 50 м.

Термічні цехи, як правило, повинні розташовуватися в одноповерхових будинках із заксленими вікнами і світлоаераційними ліхтарями і відповідати вимогам СНіП 2.09.02* "Виробничі будівлі" (далі - СНіП 2.09.02*) [47].

Допускається розміщення термічних цехів, ділянок на нижньому або проміжному поверсі багатоповерхового будинку. У цьому випадку міжповерхові перекриття повинні бути розраховані на дію відповідних статистичних і динамічних навантажень, передбачена теплоізоляція перекриття для зменшення тепловіддачі. Повинний бути також передбачений надійний відвід шкідливих виділень з цих цехів і забезпечена відповідна вентиляція приміщень, розташованих над ними. Розміщення термічних цехів або ділянок на верхньому поверсі багатоповерхового будинку допускається тільки у виняткових випадках [47].

Виробничі приміщення для термічної обробки деталей можуть займати весь будинок або розміщуватися в будинку з іншими цехами (ділянками), при цьому вони повинні розташовуватися біля зовнішньої стіни з віконними прольотами і відокремлюватися від інших цехів (ділянок) капітальною стіною.

Безпечність будинків, споруд та приміщень забезпечується дотриманням чинних нормативних документів під час проектування, будівництва та експлуатації відповідно до вимог ГОСТ 12.1.004 "Пожежна безпека. Загальні вимоги", ГОСТ 12.1.010 "Вибухобезпечність. Загальні вимоги" (далі - ГОСТ 12.1.010), СНіП 2.09.02*, СНіП 2.11.01 "Складські будівлі", ДБН В.1.1.7-2002 Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва, затвердженого наказом Держбуду України від 03.12.2002 N 88 (va088509-02) (із змінами), СНіП 2.04.05 "Опалення, вентиляція и кондиціонування" (далі - СНіП 2.04.05) [47].

Висота цеху залежить від кількості наявних прольотів, габаритів використовуваного устаткування та оброблюваних деталей і повинна бути не

менше 8 м. Для окремих термічних цехів, за узгодженням з органами державного санітарно-епідеміологічного нагляду, допускається зменшення висоти приміщень, але не менше ніж до трьох метрів.

У багатопрогонових будинках термічних цехів висота "гарячих" прольотів, де встановлено устаткування з великими тепло- і газовиділеннями, повинна бути збільшена за рахунок світлоаераційних ліхтарів. Ширина світлоаераційних ліхтарів повинна складати не менше 30% ширини прольоту [47]. Ширина прольоту цеху повинна бути не менше 12 м. Ширина будинку і його планування повинні забезпечувати вільний доступ свіжого повітря в "гарячі" прольоти.

У цехах і на ділянках термічної обробки слід передбачати проходи і проїзди для руху людей і транспортних засобів.

Ширина проїздів повинна забезпечувати безпеку руху транспортних засобів і встановлюється в залежності від максимальних габаритів транспортних засобів з вантажем і при одnobічному русі підлогового колісного безрейкового транспорту повинна бути 2,5-3 м, при двосторонньому русі підлогового колісного безрейкового транспорту і вантажних машин вантажопідйомністю до 3 т ширина проїзду повинна бути 4 м [47].

Границі проходів і проїздів повинні бути відзначені контрастними світлими смугами шириною не менше 50 мм або іншими технічними засобами.

Захаращення проходів і проїздів або використання їх для складування вантажів не допускається.

Висота в'їзних воріт цеху повинна бути не менше 5,4 м, ширина - не менше 4,8 м (для залізничного транспорту). У цеху обов'язкова наявність мінімум двох евакуаційних виходів. Двері повинні мати ширину не менше 0,8 м і висоту - не менше 2,0 м. Ворота, двері та інші прорізи в капітальних стінах, зроблені для різних потреб, повинні бути утеплені та обладнані тамбурами або тепловими повітряними завісами. Двері повинні мати пристосування для примусового закривання. Відкриття і закриття важких і великих воріт повинні бути механізовані, для унеможливлення їх мимовільного відкриття або закриття повинні бути фіксатори [47].

Улаштування і утримування транспортних шляхів на території та у виробничих приміщеннях організації повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.3.020 "Система стандартів безпеки праці." (далі - ГОСТ 12.3.020). Стіни, стелі і внутрішні конструкції приміщень термічних цехів повинні бути пофарбовані згідно з СН 181-70.

Обробка поверхонь виробничих приміщень повинна виключати можливість накопичення пилу, поглинання парів і газів і допускати систематичне прибирання поверхонь вологим способом [47].

У приміщеннях ділянок травління, ціанування, рідинного азотування і свинцевих печей, а також ділянок, де установлені вакуумні печі, лазерні, плазмові та електронно-променеві установки, стіни на висоту 2 м від підлоги повинні бути облицьовані кахельними або скляними плитками. Стіни і перегородки приміщень, де розміщаються лазерні пристрої III-IV класів безпеки, повинні виготовлюватися з негорючих матеріалів з матовою поверхнею згідно із Санітарними нормами і правилами будови і експлуатації лазерів (СанПіН 5804) [47].

Тип покриття підлоги при проектуванні термічних цехів (ділянок) слід вибирати згідно із СНіП 2.03.13 "Підлоги". У термічних цехах підлоги слід виконувати з рифленої чавунної плитки або іншого матеріалу, що відповідає вимогам вогнестійкості і поверхневої міцності. Вони повинні бути рівними, неслизькими, волого- і непроникними для масла та легко очищатися від бруду.

Підлога в проїздах, проходах, на ділянках складування вантажів повинна мати міцне і тверде покриття. На ділянках промивання деталей покриття підлоги повинно бути водо непроникним. На ділянках травління, ціанування, рідинного азотування та інших, де можливе застосування лугів, кислот, солей, нафтопродуктів та ін., покриття підлоги повинно бути стійким до впливу хімічно активних речовин і не допускати їх усмоктування.

Підлога на цих ділянках повинна мати ухил не менше 1:200 у бік трапів для відводу стічних вод [47]. Усі поглиблення в підлозі (колодязі, приямки, тунелі комунікацій) повинні перекриватися плитами, що зручно знімаються, необхідної міцності з рифленою поверхнею. Рейки внутрішньоцехового транспорту повинні бути виконані на одному рівні з підлогою. Поворотні круги повинні мати надійні фіксатори, що автоматично замикаються.

Ділянки травління металів, ціанування, рідинного азотування, ціаністих і свинцевих печей-ванн, дифузійної металізації, борування, плазмової, електронно-променевої, лазерної обробки, підготовки твердого карбюратора повинні розміщатися в ізольованих один від одного приміщеннях із прорізами, що закриваються, для вантажопотоків. На вікнах повинні бути встановлені металеві ґрати [47].

На ділянках травління металу в перекриттях, стінах, колонах і інших конструктивних елементах приміщення для запобігання корозії при взаємодії з агресивним середовищем не повинно бути незахищених виступаючих металевих частин. У приміщеннях для складування і розфасування ціаністих солей з'єднання стін з підлогою повинні бути закруглені і не мати вибоїв, тріщин, щілин, у яких можуть накопичуватися залишки солей. Не дозволяється влаштування плінтусів, дерев'яних полиць, стелажів та ін. Підлога повинна бути

гладкою, покритою метласькими плитками, лінолеумом або іншим водонепроникним матеріалом з улаштуванням ухилів для стоку рідини.

Ширина проходів у приміщеннях для складування і розфасування ціаністих солей повинна бути не менше 1 м [47]. Підлогу в приміщеннях підмітати не можна, її необхідно мити гарячою водою, що містить 1% залізного купоросу для нейтралізації пилу ціаністих солей, або гарячим содовим розчином. У неробочий час склад повинний бути опломбований. Ділянки термообробки в ціаністих ваннах, де проводяться роботи, які належать до групи За виробничих процесів за СНіП 2.09.04 "Адміністративні та побутові будівлі" (далі - СНіП 2.09.04), повинні сполучатися зі спеціальними ізольованими санітарно-побутовими приміщеннями [47].

Для розміщення допоміжного устаткування (трубопроводів, охолоджувачів масла, насосів, електродвигунів вентиляторів та ін.), транспортних і комунікаційних засобів можуть бути використані підвали і напівпідвали, обладнані ефективною вентиляцією. Висота цих приміщень від підлоги до виступаючих конструкцій перекриття (покриття) повинна бути не менше 2,2 м.

Нижні виступаючі частини комунікацій і устаткування повинні бути розташовані на висоті не менше 1,8 м. Ширина проходів у підвали і напівпідвали повинна бути не менше 1 м. Для періодичного обслуговування устаткування, заглибленого в підлогу, повинні передбачатися тунелі, обладнані ефективною вентиляцією. Ширина тунелю повинна бути такою, щоб у місцях обслуговування тепловипромінювального устаткування (печей, ванн) проходи складали не менше 1,5 м. Розміри транспортних і комунікаційних тунелів повинні відповідати СНіП 2.09.02 [47].

Вимоги до опалення, вентиляції і кондиціонування [48]:

Виробничі і допоміжні приміщення термічних цехів і ділянок повинні бути обладнані системами опалення, вентиляції і кондиціонування відповідно до вимог СНіП 2.04.05. Системи опалення, вентиляції і кондиціонування під час проведення основних і ремонтно-допоміжних робіт повинні забезпечувати оптимальні або допустимі мікрокліматичні умови в робочій зоні відповідно до вимог Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень, затверджених постановою головного державного санітарного лікаря України від 01.12.99 N 42 (042282-99) (далі - ДСН 3.3.6.042-99), а також зниження вмісту в повітрі шкідливих речовин до значень, що не перевищують граничнодопустимі концентрації (далі - ГДК), регламентованих ГОСТ 12.1.005 "Система стандартів безпеки праці.", (далі - ГОСТ 12.1.005) [48].

Класифікація шкідливих речовин і загальні вимоги безпеки при їх виробництві, застосуванні і зберіганні приведені в ГОСТ 12.1.007" Система стандартів безпеки праці." (далі - ГОСТ 12.1.007).

У кабінах кранівників, у приміщеннях пультів керування технологічними процесами, у залах обчислювальної техніки та інших приміщеннях при виконанні робіт операторського типу, пов'язаних з нервово-емоційною напругою, повинні підтримуватися оптимальні значення температури повітря (22-24°C), його відносної вологості (40-60%) і швидкості руху (не більше 0,1 м/с) згідно з ДСН 3.3.6.042-99 (042282-99) [48].

У виробничих приміщеннях, де неможливо забезпечити значення показників мікроклімату в межах норм, необхідно передбачати заходи для захисту працівників від перегрівання, охолодження та інших шкідливих факторів. Термічні цехи повинні бути обладнані повітряними системами опалення, які поєднуються з припливною вентиляцією без рециркуляції. При відповідному техніко-економічному обґрунтуванні допускається застосування повітряно-опалювальних агрегатів і місцевих нагрівальних приладів. Місцеві нагрівальні прилади опалення повинні мати гладку поверхню, легкодоступну для очищення від пилу. Не дозволяється у виробничих і допоміжних приміщеннях застосування побутових і саморобних електронагрівальних приладів [48].

Рециркуляція припливного повітря для опалення допускається в робочий час лише в складах металу. На виробничих ділянках рециркуляція може бути використана для потреб чергового опалення в неробочий час.

У робочу зону згідно з СНіП 2.04.05-91 припливне повітря слід подавати з повітророзподільників:

- горизонтальними струменями, що випускаються в межах або вище робочої зони;
- похилими (униз) струменями, що випускаються на висоті 2 м і більше від підлоги;
- вертикальними струменями, що випускаються на висоті 4 м і більше [48].

При незначних надлишках теплоти припливне повітря допускається подавати з повітророзподільників, розташованих у верхній зоні, струменями: вертикальними, спрямованими зверху вниз, горизонтальними або похилими (униз). У приміщеннях термічних цехів повинна використовуватися як природна, так і штучна вентиляція [48]. Аерацію виробничих приміщень слід здійснювати шляхом відкривання вікон і світлоаераційних ліхтарів, отворів вентиляційних шахт. Відкривання слід здійснювати за спеціально розробленою в організації інструкцією з урахуванням пори року і напрямків

вітрів, а також з урахуванням виключення можливості попадання шкідливих речовин з одного приміщення в інше.

Світлоаераційні ліхтарі повинні бути обладнані пристроями для дистанційного відкривання фрамуг і рам з підлоги або спеціальної площадки в приміщенні цеху. Стулки віконних плетінь нижніх ярусів застосування, які доступні для відкривання з підлоги або робочої площадки, повинні мати ручки для відкривання вручну [48].

Приміщення термічних цехів повинні бути обладнані механічною загальнообмінною припливно-витяжною вентиляцією. Вибір системи вентиляції повинний обґрунтовуватися розрахунком. Вентиляційні системи повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.4.021 "Системи вентиляційні" (далі - ГОСТ 12.4.021).

Необхідний повітрообмін у приміщеннях слід розраховувати окремо для теплого і холодного періоду року, виходячи з рівня шкідливості даного виробництва. Припливною вентиляцією повітря розсіано подається в робочу зону, а витяжною вентиляцією видаляється з верхньої зони приміщення. В зимовий період припливне повітря повинно підігріватися [48].

У зимовий період з розрахунковою середньою температурою зовнішнього повітря мінус 20°C і нижче ворота виробничих приміщень, що знаходяться відкритими не менше ніж 40 хвилин за зміну, повинні бути обладнані тамбурами або шлюзами; при відсутності такої можливості у воріт повинні влаштовуватися повітряні завіси. Уключення і вимикання вентиляційних установок повітряних завіс повинно бути автоматизовано.

На постійних робочих місцях для створення необхідних мікрокліматичних умов згідно з ДСН 3.3.6.042 (va042282) необхідно застосовувати повітряне душування в таких випадках:

- при тепловому опроміненні працівника з інтенсивністю 350 Вт/кв.м і більше;
- при нагріванні повітря в робочій зоні до температури, вище встановленої СНіП 2.04.05 та ДСН 3.3.6.042 (va042282).

Системи, що подають повітря для душування, не слід поєднувати із системою припливної вентиляції [48].

У випадку тривалого перебування працівників біля джерел інтенсивного опромінення (більше 350 Вт/кв.м) на робочі місця слід подавати зосереджене чисте припливне повітря зі швидкістю не більше 3,5 м/с (1-3,5 м/с) залежно від інтенсивності опромінення. У приміщеннях термічних цехів з великим тепловиділенням (у тому числі, що супроводжується виділенням вологи і шкідливих речовин) подача припливного повітря системами вентиляції і кондиціонування повинна здійснюватися в робочу зону так, щоб не

порушувалася робота місцевих відсмоктувачів (безпосередньо на тіло працівника) [48].

Повітрязбірні пристрої систем вентиляції слід розміщувати в найменш забрудненій зоні, при цьому нижній край патрубків повинен знаходитися на висоті не менше 2 м від рівня землі, а при розміщенні їх у зеленій зоні - на висоті не менше 1 м. Вхідні отвори повітрязбірних пристроїв повинні бути надійно захищені від влучення в них сторонніх часток, предметів та ін. Обсяг повітря, що подається на ділянки ціанування, травлення, очищення і гідрополірування, установок для приготування контрольованих атмосфер, установок випарного азотування та у місця зберігання балонів з газами для азотування, повинен бути на 5% менше обсягу, що видаляється, щоб не було підсмоктування повітря з більше забруднених приміщень у менш забруднені [48].

Забруднене повітря при видаленні не повинно проходити через зону дихання працівника. Виробничі устаткування і місця розкриття тари, пов'язані з застосуванням або утворенням шкідливих і вибухонебезпечних речовин, слід оснащувати самостійними системами місцевої витяжної вентиляції. Місцеві відсмоктувачі повинні бути розташовані таким чином, щоб повітря, що відсмоктується, не проходило через зону дихання працівника.

Індукційні електротермічні установки повинні мати місцеву витяжну вентиляцію у вигляді зонти. Швидкість руху повітря біля гартівного контуру повинна бути достатньою для відсмоктування шкідливих гарячих газів (визначається розрахунком) [48].

У нагрівальних печей над завантажувальними вікнами необхідно встановлювати зонти-козирки або витяжні комбіновані зонти. Козирки передбачаються як у печей, що працюють на газоподібному і рідкому паливі (і мають відведення продуктів згоряння в димовий лежак), так і в камерних електропечей опору. Комбіновані зонти встановлюють у печей, що не мають лежаків для відведення продуктів згоряння. Круглі ванни і шахтні термічні печі рекомендується обладнати кільцевими відсмоктувачами.

Місцеві відсмоктувачі та укриття повинні бути невід'ємною частиною виробничого устаткування, надійно кріпитися і не створювати незручності для працівників [48].

Місцеві відсмоктувачі, які видаляють шкідливі речовини від виробничого устаткування, слід блокувати з цим устаткуванням для відключення його роботи при відключеній місцевій витяжній вентиляції.

На ділянках, де застосовуються речовини 1 класу небезпеки (ГОСТ 12.1.007), системи місцевих відсмоктувачів повинні бути оснащені звуковою сигналізацією, яка автоматично включається при зупинці вентилятора [48].

Повітря, що видаляється з виробничих приміщень і від устаткування, перед викидом в атмосферу підлягає очищенню від шкідливих речовин відповідно до вимог СНіП 2.04.05, ГОСТ 12.4.021, Гігієнічних вимог щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я, затверджених наказом головного державного санітарного лікаря України від 01.07.99 N 29 (v0029588) (далі - ДСанПіН 2.2.7.029).

Патрубки, що викидають забруднене повітря від місця його забору, повинні бути на відстані не менше 20 м по горизонталі і не менше 6 м по вертикалі при концентрації шкідливих викидів у зоні забору повітря не більше 1/3 ГДК [48].

Отвори патрубків для викиду забрудненого повітря від ціаністих і свинцевих ванн повинні бути розміщені на висоті не менше 5 м над найбільше високою частиною даху будинку термічного цеху. Викид повітря повинний бути факельним. Викид в атмосферу повітря, що містить вибухонебезпечні речовини, не повинний здійснюватися в місця, поблизу яких викидаються в атмосферу продукти згорання.

Не допускається поєднувати повітроводи витяжних систем від термічних печей і від гартівних масляних баків і ванн (через можливе загорання масла), а також від ціаністих і кислих травильних ванн (щоб уникнути утворення ціаністого водню) [48].

Охолоджувати вироби, нагріті в процесі термічної обробки, необхідно в місцях, оснащених ефективною витяжною вентиляцією, або в спеціальних охолоджувальних приміщеннях (пристроях). У виробничих приміщеннях термічних цехів, де можливо раптове виділення в повітря робочої зони великої кількості шкідливих речовин, повинна бути передбачена аварійна вентиляція згідно з СНіП 2.04.05.

Патрубки аварійної вентиляції не слід розміщати в місцях постійного перебування людей і розміщення повітрязабірних пристроїв систем вентиляції і кондиціонування повітря. Уключення аварійної вентиляції повинно бути дистанційним [48]. Вентиляційне устаткування, трубопроводи і повітроводи, розташовані в приміщеннях з агресивним середовищем або призначені для транспортування повітря з агресивними газами, парами і пилом, повинні бути виготовлені з антикорозійних матеріалів або захищені відповідним покриттям.

Приміщення термічних цехів, термічне устаткування і комунікації повинні оснащуватися контрольно-вимірювальними приладами. До систем керування процесами термічної і хіміко-термічної обробки повинний бути вільний і безпечний доступ для обслуговування і ремонту [48].

При використанні газів з небезпечними і шкідливими властивостями необхідно здійснювати контроль роботи витяжних вентиляційних пристроїв

і систем сигналізації за графіком, затвердженим головним інженером організації, але не рідше одного разу в квартал. З метою перевірки ефективності роботи вентиляції і стану повітряного середовища необхідно систематично проводити аналіз повітряного середовища на наявність пилу і шкідливих газоподібних речовин. Місця узяття проб повинні бути погоджені з органами державного санітарно-епідеміологічного нагляду [48].

Для зниження температури поверхонь обладнання і зменшення ступеня нагріву повітря на робочих місцях слід передбачати теплоізоляційні пристрої. Температура на поверхні обладнання не повинна перевищувати 43°C відповідно до ДСТУ EN 563-2001 Безпечність машин. Температура поверхонь, доступних до дотику. Ергономічні дані для встановлення граничних значень температури гарячих поверхонь (далі - ДСТУ EN 563-2001). У приміщеннях для розчину ціаністих солей загально обмінну витяжну вентиляцію передбачають з нижньої зони приміщення [48].

Вимоги до вихідних матеріалів, заготовок, напівфабрикатів:

При термічній і хіміко-термічній обробці металів повинні застосовуватися хімічні речовини (кислоти, солі, луги та ін.) і матеріали (бензин, гас, масло та ін.), які повинні відповідати вимогам технічних нормативних правових актів (стандартів, технічних умов і ін.) та мати супроводжувальні документи (сертифікат, паспорт і ін.) [48].

Горючі матеріали (рідини, гази і тверді речовини), що застосовуються в технологічних процесах, повинні мати встановлені пожежонебезпечні параметри.

Застосування нових видів палива, нагрівальних, охолоджувальних і захисних середовищ, карбюраторів і інших хімічних речовин допускається тільки після узгодження з органами державного санітарно-епідеміологічного нагляду.

Хімічні речовини і матеріали, що використовуються, не повинні здійснювати шкідливого впливу на працівників. На робочих місцях концентрації токсичних речовин не повинні перевищувати ГДК згідно з ГОСТ 12.1.005.

При використанні в роботі горючих, вибухонебезпечних і шкідливих речовин необхідно дотримуватись вимог ГОСТ 12.1.004, ГОСТ 12.1.010 "Вибухобезпечність" (далі - ГОСТ 12.1.010) [48].

5.2 Вимоги до обладнання

Печі-ванни:

У печах-ваннах повинна бути передбачена система автоматичного регулювання температури. При несправності приладів цієї системи обов'язкове автоматичне відключення нагрівачів з одночасним уключенням світлової або звукової сигналізації [48]. Печі-ванни повинні бути закриті кожухами (з

дверцятами, що закриваються), приєднаними до місцевої витяжної вентиляції, або обладнані ефективними бортовими відсмоктувачами. У конструкції печей-ванн не допускається розміщення нагрівальних пристроїв під днищем через можливе скупчення твердих опадів на дні ванни, які створюють теплоізоляцію, що може привести до перегріву і прогорання днища. У селітрових печах-ваннах повинні бути передбачені пристрої для попередження місцевого перегріву розплавів: контрольна дублююча термопара і вторинний прилад для відключення нагрівання при перевищенні заданої температури; механічна мішалка. У свинцевих ваннах або в ваннах з розплавленим силуміном тигель ванни і чохол датчика температури (термопари) повинні бути захищені від роз'їдання [48].

Печі електричні:

Електропечі, а також електрованни, газоприготувальні установки, індукційні установки повинні відповідати вимогам НПАОП 40.1-1.32 (v0272203-01), ГОСТ 12.2.007.0 і ГОСТ 12.2.007.9. Експлуатація електропечей повинна здійснюватися відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.01 (z0011-98) і НПАОП 40.1-1.21-98 (z0093-98) [48].

Щити керування електропечей повинні бути закритого типу. Допускається пристрій відкритих щитів панельного типу, але тільки в спеціально відведених для них ізольованих приміщеннях з вікнами для спостереження за приладами і оптимальними (якщо там працює комп'ютерна техніка) умовами мікроклімату (ДСН 3.3.6.042) (va042282-99), допустимими рівнями шуму (ДСН 3.3.6.037) (va037282-99), вібрації (ДСН 3.3.6.039) (va039282-99), освітленості (ДБН В.2.5-28-2006), з прозорими теплозахисними екранами (ДСН 3.3.1.038-99) (v0038588-99), з допустимими рівнями електромагнітних випромінювань (ДСН 3.3.6.096-2002) (z0203-03) [48].

На щитах і пультах керування електропечей повинна бути світлова сигналізація про подачу напруги на нагрівальні елементи і про роботу блокувальних пристроїв. Електропечі з ручним завантаженням і вивантаженням деталей повинні бути обладнані блокувальними пристроями для автоматичного зняття напруги з нагрівальних елементів при відкриванні дверцят печі.

Усі струмоведучі частини електропечей повинні бути ізольовані або обгороджені. Огороджувальні пристрої та інші металеві струмоведучі частини повинні бути заземлені. Параметри електромагнітних випромінювань на робочих місцях повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.096-2002 (z0203-03).

Ваги заслінок, що врівноважують, а також приводи механізмів печей повинні бути обгороджені [48].

В електропечах з примусовою циркуляцією робочої атмосфери, у якій не виключається викид гарячого газу через відкритий проріз, повинен бути

передбачений блокувальний пристрій, що відключає живлення електродвигунів пічних вентиляторів перед відкриттям дверцят або кришки.

У печах з механізованим підйомом і опусканням дверцят або заслінок робочих вікон, або кришок повинна бути забезпечена можливість зупинки дверцят у будь-якому проміжному положенні, автоматична зупинка механізму підйому та опускання в кінцевих положеннях і виключена можливість падіння дверцят при відключенні механізму [48].

5.3 Охорона навколишнього середовища

Охорона навколишнього середовища на підприємстві характеризується комплексом вжитих заходів, які спрямовані на попередження негативного впливу діяльності підприємства на навколишнє середовище, що забезпечує сприятливі та безпечні умови праці. Для охорони навколишнього середовища на підприємстві проводяться заходи для зниження рівня забруднень, що виробляється підприємством [49]:

- Виявлення, оцінка, постійний контроль та обмеження викиду шкідливих елементів в атмосферу.
- Розробка нормативно-правових актів та комплексу природоохоронних заходів.

Крім екологічної безпеки об'єкта (охорона навколишнього середовища на підприємстві) не менш важлива і безпека життєдіяльності на підприємстві. У це поняття входить комплекс організаційних і технічних засобів для запобігання негативного впливу виробничих факторів на працівників. Крім техніки безпеки праці робітники повинні дотримуватися правил з технічних вимог і нормативів підприємства, а також підтримувати санітарно-гігієнічні норми і мікроклімат на робочому місці [49].

Всі норми і правила екологічної та робочої безпеки повинні бути визначені і зафіксовані в певному документі. Екологічний паспорт містить загальні відомості про підприємство, використовувану сировину, опис технологічних схем вироблення основних видів продукції, схем очищення стічних вод і викидів у повітря, їх характеристики після очищення; дані про тверді й інші відходи, а також відомості про наявність у світі технологій, що забезпечують досягнення найкращих показників з охорони природи [49].

Працівники служби екологічного контролю беруть участь у заповненні і оформленні всіх граф екологічного паспорта, враховуючи сумарний вплив шкідливих викидів у навколишнє середовище. При цьому враховуються допустимі концентраційні рівні шкідливих речовин на прилеглих до підприємства територіях, повітрі, поверхневих шарах ґрунту і водойм [49].

До головних завдань в організації природоохоронної діяльності підприємств відноситься :

- аналіз кількісних і якісних показників діяльності підприємства, які здійснюють вплив на довкілля, ефективності запровадження заходів з охорони довкілля і раціонального використання природних ресурсів за відповідний період;
- розробка перспективних та поточних заходів природоохоронної діяльності з обґрунтуванням потреби щодо обсягів їх фінансування, визначення термінів виконання.

Природоохоронні заходи, що запроваджуються підприємством, повинні повністю компенсувати шкідливий вплив виробництва на навколишнє природне середовище і відповідати за напрямками постанові Кабінету міністрів України від 17 вересня 1996 року № 1147 (зі змінами) «Про затвердження переліку видів діяльності, що належать до природоохоронних заходів» [50].

План підприємств з питань охорони навколишнього природного середовища і раціонального використання природних ресурсів складається з таких розділів:

- охорона і раціональне використання водних ресурсів;
- охорона повітряного басейну;
- охорона і раціональне використання земель;
- охорона і раціональне використання мінеральних ресурсів;
- організаційно-просвітницькі заходи [50].

У розділі «Охорона і раціональне використання водних ресурсів», передбачається комплекс заходів, що забезпечує скорочення витрат питної води, припинення скидів неочищених стоків в поверхневі водні об'єкти, недопущення в скидах стічних вод перевищення нормативних показників забруднюючих речовин. Реалізація забезпечується розробкою заходів по вдосконаленню технологічних процесів виробництва та обладнання, будівництва споруд для очищення стічних вод, створення оборотних систем виробничого водопостачання, впровадження енерго- та ресурсозберігаючих технологій тощо. Крім того, у цьому розділі визначаються обсяги водоспоживання, водовідведення та скидів стічних вод всіх категорій, що використовуються підприємством [50].

Розділ «Охорона повітряного басейну», містить природоохоронні заходи, спрямовані на зниження обсягів шкідливих речовин, що викидаються в атмосферне повітря стаціонарними джерелами забруднення на підприємстві та забезпечення дотримання нормативів гранично допустимих концентрацій викидів в санітарно-захисній зоні підприємства.

Показники даного розділу зазначаються окремо для кожного джерела забруднення з подальшим визначенням зведених даних по підприємству [50].

У розділі «Охорона і раціональне використання земель», відображаються напрями використання земельних ділянок, які знаходяться у користуванні підприємства під час здійснення господарської діяльності і включають заходи по створенню захисних зелених зон, будівництву та реконструкції протиерозійних, гідротехнічних, протикарстових споруд та інших. Передбачається розробка заходів, спрямованих на попередження (ліквідацію) забруднення ґрунтів відходами виробництва, проведення своєчасної рекультивації порушених земель та використання родючого шару ґрунту.

До показника, що характеризує площі порушених земель, відносять землі порушені під час добування корисних копалин, що перебувають під будівельними й іншими роботами, пов'язаними з порушенням ґрунтового покриву, гідрологічного режиму, зайняті під териконами, смітниками і т.п.

Дані про використання земель відображаються в плані у зведеному вигляді за виключенням земель, що рекультивовані і передані землекористувачам для використання [50].

У розділі «Охорона і раціональне використання мінеральних ресурсів» згруповані заходи з удосконалення методів розробки родовищ корисних копалин і покращення використання сировини, що добувається. Цей розділ планується для запровадження на підприємствах добувних галузей промисловості [50].

ВИСНОВКИ

Охорона праці це дуже важлива складова виробництва. Людина відзначається як головна цінність, оскільки її безпека та здоров'я дозволяють забезпечити рентабельність та надійність виробництва.

Виробничі умови повинні забезпечити захист людини від загроз її здоров'ю та життю. Тому охорона праці спрямована на організацію безпеки трудового процесу та на профілактику захворювань. Охорона праці також в повній мірі несе відповідальність за виконання власником соціальних гарантій і пільг.

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Для підвищення експлуатаційних властивостей інструментальних сталей окрім стандартних методів термічної обробки також широко застосовуються методи ХТО, а також спеціальні методи отримання поверхневих окисних плівок.

Підвищення строку служби інструменту дозволяє економити ресурси заощаджуючи дорогі легувальні елементи.

Проведення досліджень дозволяє аргументовано підбирати методи та технологічні параметри для отримання якісних окисних плівок.

В той же час використання сучасного обладнання та правильний вибір методів дослідження дозволяє інтенсифікувати процес досліджень та отримати достовірні результати.

Аналіз отриманих результатів показує актуальність проведення процесу хімічного окисдування інструментальних вуглецевих та легованих сталей після остаточної термічної обробки.

Проведені економічні розрахунки показали, що комплексний процес дещо здорожує вартість інструменту, але в той же час підвищується його надійність і довговічність. Однозначних висновків щодо рентабельності впровадження процесу не отримано. Тому окрім теоретичних розрахунків потрібно практичне встановлення довговічності та працездатності інструменту.

В роботі проаналізовано шкідливі виробничі фактори та запропоновано методи щодо запобігання виробничому травматизму та заходи охорони довкілля.

СПИСОК ВИКРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Булига Ю. В. Основи інструментального виробництва : навчальний посібник [Електронний ресурс] / Ю. В. Булига, А. В. Слабкий – Вінниця: ВНТУ, 2018. (PDF, 149 с.)
2. Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні : навчальний посібник / В. О. Залога, В. Д. Гончаров, О. О. Залога; за заг. ред. В. О. Залоги. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 371 с.
3. Імбірович Н.Ю. Захист від зношування деталей триботехнічного призначення плазмоелектролітним оксидуванням / Н.Ю. Імбірович, М.Д. Клапків, О.Ю. Повстяной, Н.П. Зайчук // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. -2013. -№1(8). С. 150-154
4. Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.
5. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів : підручник [для вищ. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, А.І.Грабченко, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосолов, Ф.Я. Якубов ; під заг. ред. М.П. Мазура. – 3-е вид. перероб. і доп. – Львів : Новий Світ-2000, 2020. – 471 с.
6. Прокопович І.В. Металознавство : навчальний посібник / І.В.Прокопович. – Одеса :Екологія,2020. – 308с.
7. Афтанділянц Є.Г., Зазимко О.В., Лопатько К.Г. Матеріалознавство. Київ : Ліра-К, Олді-плюс, 2013. 612 с.
8. Більченко О.В., Дудка О.І., Лобода П.І. Матеріалознавство. Київ : Кондор, 2009. 154 с.
9. Костик К.О. Швидкісний метод нітроцементзації легованої сталі [Текст] / К.О. Костик, В.О. Костик, А.С. Долженко // вісник НТУ"ХПІ". -2015. -№14. -С.35-41
10. Ляшенко Б.А. Застосування йонно-плазмового термоциклічного азотування для підвищення зносостійкості високолегованої сталі [Текст] / Б.А. Ляшенко, А.В. Рутковський, О.Ю. Кумуржі // Вісник ЖДТУ:Технічні науки. -2015. - №3. -С.28-33
11. Особливості азотування середньовуглецевих конструкційних сталей в тліючому розряді з незалежними параметрами [Текст] / І. М. Пастух, Г. М. Соколова, В. М. Шулаєв [та ін.] // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – №4. – С. 61-65.
12. Пономаренко Л.А. Підвищення зносостійкості деталей шляхом заміни цементації на карбохромування [Текст] / Л.А. Пономаренко, А.І. Дегула, О.В. Тисячник // Проблеми тертя та зношування. - 2017. -№4. -С.69-74

13. Міняйло А.М. Карбохромування у порошковій суміші при одночасному насиченні вуглецем і хромом [Текст] / А.М. Міняйло, А.С. Власова, А.І. Дегула // Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів фак-ту техн. систем та енергоефективних технологій, м. Суми, 18–21 квітня 2017р.: у 2-х ч. / Ред.кол.: О.Г. Гусак, В.Г. Євтухов. - Суми : СумДУ, 2017. - Ч.1. - С. 104.
14. Патент на корисну модель №2256 від 31.01.1994, бюл. №5, Спосіб низькотемпературного нітроцементування сталевих деталей / Городецький Д.Б.
15. Патент на корисну модель №141320 від 10.04.2020, бюл. №7, Спосіб низькотемпературного деформаційного азотування поверхневих шарів металевих виробів / Васильєв М.О.
16. Патент на корисну модель №121665 від 10.07.2020, бюл. №13, Спосіб поверхневої обробки сталеві деталі азотуванням або азотонавуглецюванням, оксидуванням, а потім просочуванням / Бочаров М.А.
17. Патент на корисну модель №115969 від 10.05.2017, бюл. №9, Спосіб азотування в тліючому розряді з оптимізацією технологічного режиму / Пастух І.М.
18. Браташевський О.Ю. Методи дослідження структури металів і сплавів: Методичні вказівки до проведення занять (вип. і доп.). – Х.: ХНТУСГ, 2011. – 22 с.
19. Методичні вказівки з дисципліни “Матеріалознавство” лабораторного практикуму з розділу “Макроструктурний аналіз матеріалів” для студентів І-ІІ курсів механічних і технологічних спеціальностей / Укл.: Трофименко В.В., Гірін О.Б. – Дніпропетровськ: УДХТУ, 2000. - 26 с.
20. Електронний ресурс. Ukrintech (Металографія). Режим доступу – <https://ukrintech.com.ua/ua/mikroskopy/>
21. Методичні вказівки до лабораторної роботи №2 «Визначення твердості металів» з дисципліни «Технологія конструкційних матеріалів» освітньокваліфікаційного рівня «бакалавр» за напрямками 6.050502 «Інженерна механіка», 6.050503 «Машинобудування» та 6.070106 «Автомобільний транспорт» денної і заочної форм навчання. /Укладачі: Молчанов В.Ф., Музичка Д.Г., Часов Д.П. - Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2014р. - 18 стор.
22. Методичні вказівки з дисципліни “Матеріалознавство” до виконання лабораторного практикуму з розділу “Механічні властивості матеріалів” для

- студентів усіх форм навчання. / Укл.: Трофименко В.В., Клименко О.П., Овчаренко В.І. – Дніпропетровськ: УДХТУ, 2012. – 38 с.
23. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із дисципліни «Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів» : у 2 частинах. Ч. 1. Випробування металів / укладачі: В.О. Пчелінцев, А. І. Дегула, Т. П. Говорун. – Суми : Сумський державний університет, 2015. – 53 с.
24. Електронний ресурс. Microtech (Твердоміри). Режим доступу – https://microtech-ua.com/index.php?id_category=832&controller=category&id_lang=2
25. Казіміров В. П. Рентгенографія кристалічних матеріалів : навч. посіб. / В. П. Казіміров, Е. Б. Русанов. – К. : ВПЦ "Київський університет", 2016. – 287 с.
26. Massa W. Crystal Structure Determination / W. Massa // Springer-Verlag : N. Y., 2004.
27. Карпець, М. В. Методичні вказівки до лабораторної роботи на тему "Застосування програмного забезпечення для рентгеноструктурного аналізу" з курсу "Основи комп'ютерного матеріалознавства" [Текст] : для студ. спец. 7(8).05040301 "Прикладне матеріалознавство" денної і заочної форм навчання / М. В. Карпець, А. І. Дегула, О. М. Мисливченко. — Суми : СумДУ, 2014. — 30 с.
28. Електронний ресурс. Macrolab (Дифрактометри). Режим доступу – https://www.macrolab.com.ua/catalog/catalog/xrd_diffractrometers/
29. Свідерський В.А., Черняк Л.П., Сальник В.Г., Сікорський О.О., Дорогань Н.О. Інструментальні методи хімічного аналізу силікатних систем [Текст] навчальний посібник / В.А. Свідерський, Л.П. Черняк, В.Г. Сальник, О.О. Сікорський: – К.: КПІ імені Ігоря Сікорського, 2017. – 169 с.
30. Архіпова, Т. Ф. Прикладне матеріалознавство : навчальний посібник. / Т. Ф. Архіпова, А. Ю. Осадчук. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 60 с.
31. Електронний ресурс. Spectran (Каталог). Режим доступу – <http://www.spectran.com.ua/equipmentxrf.html>
32. Закалов, О.В. Основи тертя і зношування в машинах: Навчальний посібник / О.В. Закалов, І.О. Закалов. – Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. – 322 с.
33. Кіндрачук, М.В. Трибологія / М.В. Кіндрачук, В.Ф. Хабутель, М.І. Пашечко, Є.В. Корбут. – К.: Вид-во Національного Авіаційного університету «НАУ-друк», 2009. – 232 с.

34. Електронний ресурс. SocTrade (Машини тертя). Режим доступу – http://www.soctrade.com/equip_groups/mashiny-treniya-tribomashiny.phtml?page=all
35. ГОСТ 1435-99. Прутки, полосы и мотки из инструментальной нелегированной стали. Общие технические условия . – Взамен ГОСТ 1435-90 ; Дата введения 2001-09-01. Межгосударственный стандарт.
36. ГОСТ 5950-2000. Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали. Общие технические условия. – Взамен ГОСТ 5050-73 ; Дата введения 2002-01-01. Межгосударственный стандарт.
37. ГОСТ 19265-73 Прутки и полосы из быстрорежущей стали. Технические условия (с Изменениями N 1-6). – Взамен ГОСТ 9373-60 ; Дата введения 1975-01-01. Межгосударственный стандарт.
38. ГОСТ 5950-73. Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали. Дата введения 1975-01-01. Межгосударственный стандарт.
39. Руденко Л. Ф. Леговані сталі та сплави : навч. посіб. / Л. Ф. Руденко, Т. П. Говорун. – Суми : Сумський державний університет, 2012. – 171 с.
40. Грилихес С. Я. Оксидирование и фосфатирование металлов. — Л., Машиностроение, 1971. — 120 с.
41. Рижков В.С. Економіка підприємства [Текст]: навч. пос. / В.С. Рижков, В.А. Панков, В.В. Ровенська. - Київ: Вид. "Слово". - 2014 р. -253 с.
42. Бойчик І.М Економіка підприємства: підручник. / І.М.Бойчик. – К.:Кондор - Видавництво, 2016. – 378 с.
43. Заїченко В. І. Курс лекцій з дисциплін «Основи охорони праці», «Охорона праці» (для студентів денної і заочної форм навчання напрямів підготовки 6.030601 «Менеджмент»; 6.140101 «Готельно-ресторанна справа»; 6.140103 «Туризм»). / В. І. Заїченко; Харк. нац. ун-т. міськ. госп-ва. ім. О. М. Бекетова – Х.: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2013. – 120с.
44. Голінько В.І. Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько; М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.
45. Москальова В.М. Охорона праці. Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення / в. М. Москальова. – Рівне.Нувгп , 2009. Тема 1-2. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу :<http://studentbooks.com.ua/content/view/1331/76/1/0/>
46. Амелічева Л. П. Забезпечення безпеки праці як умови трудового договору: дис. ...кандидата юрид. наук : 12.00.05 / Амелічева Лілія Петрівна. – К., 2008. – 197 с.
47. Правила охорони праці при термічній обробці металів. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 28 січня 2008 р. за N 66/14757

48. НПАОП 28.5-1.02-07. Правила охорони праці при термічній обробці металів (32418)
49. Електронний ресурс. Рибалко М.М. Охорона навколишнього середовища на підприємстві – один з факторів безпечних умов праці. Режим доступу – <https://bmr.gov.ua/>
50. Електронний ресурс. Про охорону навколишнього природного середовища. Режим доступу – <https://economy.rv.ua/>

САНД