

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
Інженерно-фізичний факультет  
Металознавства та термічної обробки**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Я.В. Зауличний

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

## Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки **6.050403 «Інженерне матеріалознавство»**

**на тему: «Дифузійні багат шарові покриття за участю титану, алюмінію, азоту на сталі У8А»**

Виконав :

студент ІV курсу, групи ФІ – 51/2

Кравчук Володимир Федорович \_\_\_\_\_

Керівник:

професор, к.т.н.,

Хижняк В. Г. \_\_\_\_\_

Консультант: з розділу охорони праці:

зав. каф., д.т.н., професор,

Левченко О.Г. \_\_\_\_\_

з економічно-організаційного розділу

доцент, к.е.н., доцент

Нараєвський С.В. \_\_\_\_\_

Нормоконтроль:

доцент, к.т.н., доцент

Гриненко К.М. \_\_\_\_\_

Рецензент:

доцент, к.т.н., доцент

Білик І. І. \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій дипломній роботі  
немає запозичень з праць інших авторів  
без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Інженерно-фізичний факультет**  
**Металознавства та термічної обробки**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки – 6.050403 «Інженерне матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Я.В. Зауличний

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломну роботу студенту**

**Кравчуку Володимирі Федоровичу**

1. Тема роботи «Дифузійні багат шарові покриття за участю титану, алюмінію, азоту на сталі У8А»,

керівник роботи Хижняк Віктор Гаврилович професор д.т.н.,

затверджені наказом по університету від «27» травня 2019 р. №1408-с

2. Термін подання студентом роботи 15 червня 2019 р.

3. Вихідні дані до роботи аналіз літературних джерел та результати дослідження

4. Зміст роботи Літературний огляд, матеріали та методи дослідження, результати експерименту та їх обговорення, організаційно-економічна частина, охорона праці та економічна частина

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) Мікроструктура , зміна твердості, рентгенограма

## 6. Консультанти розділів роботи\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Організаційно-економічна частина	Нараєвський С.В. доцент		
Охорона праці	Левченко О.Г. зав каф., професор		
Нормоконтроль	Гриненко К.М. доцент		

7. Дата видачі завдання 15 квітня 2019 р\_\_\_\_\_.

## Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний огляд	15.04.2019р.	виконано
2	Освоєння методики отримання зразків	22.04.2019р.	виконано
4	Проведення експерименту та визначення впливу бар'єрних шарів на фазовий та хімічний склад покриттів	06.05.2019р.	виконано
	Аналіз експериментальних даних	13.05.2019р.	виконано
5	Розрахунок економічної частини	20.05.2019р.	виконано
6	Розрахунок питань охорони праці	27.05.2019р.	виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	03.06.2019р.	виконано

Студент

В. Ф. Кравчук

Керівник роботи

В. Г. Хижняк

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 63с., 15 рис., 8 табл., список літератури з 48 джерел.

Об'єкт роботи: сталь У8А з дифузійним багатокomпонентним покриттям на основі титану, алюмінію, азоту, хрому.

Мета роботи: покриття на сталі У8А з Al, Ti, N. Вплив на фази і хімічний склад, структуру, властивості

Методи дослідження: сучасних методів та устаткування. Ренгенофазовий металографія, окалино- та зносостійкості при терті в умовах ковзання без змазки.

**ДИФУЗІЙНЕ БАГАТОШАРОВЕ ПОКРИТТЯ,  
ТИТАНОАЛІТУВАННЯ, ФАЗОВИЙ СКЛАД, ХІМІЧНИЙ,  
МІКРОСТРУКТУРА, МІКРОТВЕРДІСТЬ.**

## ABSTRACT

Thesis: 63 p., 15 figures, 8 tables., References from 48 sources.

Object of work U8A steel with diffusion multi-component coating on the basis of titanium, aluminum, nitrogen, chromium.

Purpose: obtaining on the surface of steel U8A multilayer coatings involving titanium, aluminum, chromium. Determination TiN titanium nitride, chromium carbides  $Cr_7C_3$ ,  $Cr_{23}C_6$  on the phase and chemical composition, structure, properties of titanium alloys and titanium aluminum chrome coatings on steel U8A.

Methods of investigation: X-ray, micro-ray-spectral, microstructural and durometric analysis.

The highest heat resistance was demonstrated experimentally at a temperature of 1000C for 100 hours. Titanolitized coatings with a barrier layer based on chromium carbides were shown. Wear resistance in the conditions of slip friction without lubrication of a stable U8A with coatings was 1.8 - 4.5 times higher than the output after quenching and low temperature release (HRC 60).

**DIFFUSION COVERING, TITANIUM, PHASE COMPOSITION, CHEMICAL, MICROSTRUCTURE, MICRO-INTELLIGENCE.**

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	<b>11</b>
1. .... ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	<b>12</b>
1.1 Захисні покриття на інструментальних сталях.....	12
1.2 Оксидні покриття .....	16
1.3 Азотування .....	16
1.4 Іонна імплантація .....	18
1.4 Хімічне та фізичне осадження з газової фази .....	21
1.5 Покриття в соляній ванні .....	23
1.6 Лазерне і променеве обробка нанесення покриттів .....	24
1.7 Боридні покриття .....	27
<b>МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ .....</b>	<b>29</b>
2.1 Матеріали дослідження.....	29
2.2 Методика нанесення покриттів.....	29
2.3 Рентгеноструктурний аналіз .....	30
2.4 Мікрорентгеноспектральний аналіз.....	30
2.5 Мікроструктурний та дюрOMETричний аналіз .....	30
<b>3. ВЛАСТИВОСТІ ДИФУЗІЙНИХ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ПОКРИТТІВ ЗА УЧАСТЮ ТИТАНУ, АЛЮМІНІЮ, ХРОМУ, ТА АЗОТУ НА СТАЛІ У8А.....</b>	<b>31</b>
3.1 Фазовий склад дифузійних покриттів .....	31
3.2 Хімічний склад дифузійних покриттів на сталі У8А .....	33
4.2 Жаростійкість дифузійних багатокомпонентних покриттів на сталі У8А .....	34
<b>4 ОРГАНІЗАЦІЙНА- ЕКОНОМІЧНО ЧАСТИНА.....</b>	<b>37</b>
4.1 Науково-технічна актуальність НДР .....	38
4.2 Мета і завдання науково-дослідницької роботи.....	38
4.3 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження .....	39
4.3.1 Зарплата виконавців по темі .....	40
4.3.2 Єдиний соціальний внесок.....	42
4.3.3 Матеріали по роботі .....	42
4.3.4 Витрати на додаткове обладнання та прилади .....	43
4.3.5 Витрати на службові відрядження.....	43
4.3.6 Інші прямі невраховані витрати.....	43
4.3.7 Накладні витрати.....	43
4.3.8 Планова кошторисна вартість НДР .....	44
4.4 Економічна ефективність НДР .....	46

4.5 Висновки до розділу.....	50
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....</b>	<b>63</b>

## ВСТУП

Покриття збільшують експлуатаційні властивості інструментів із сплавів.

Експлуатації інструментів забезпечується твердістю.

Багатошарові покриття на сплавах методами фізичного осадження з газової фази та хіміко-термічної обробки [5 – 10] на основі карбідів, нітридів, інтерметалідів перехідних металів IV – V груп.

Знайшли використання комбінація методів а саме азотування з наступним дифузійним титануванням, ванадіюванням, хромуванням [45].

# 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

## 1.1 Захисні покриття на інструментальних сталях

Інструментальні сталі повинні витримувати зношування, високі напруження підвищені температури, і корозійний вплив навколишнього середовища. На основі складу сплаву, термічної обробки та термомеханічної обробки, інструментальні сталі розроблені для протидії руйнівному впливу не тільки в робочій частині інструменту, а також і в значній глибині основи.

Незважаючи на однорідність інструментальних сталей, поверхня інструменту найбільше піддається руйнуванню при роботі.

Для покращення поверхневих властивостей інструментальних сталей

Сьогодні існує багато допоміжних технологій захисних поверхонь, що дозволяють покращити якість інструментальної сталі. Рис. 4.1 показує, що в сучасний час дають методи нанесення захисних покриттів, порівняння глибини на яку структура і властивості покриття отримані різними методами. Існує чотири види обробки: імплементація, металізація покриття, термохімічна, теплова [1]

Імплементація змінює хімічний склад поверхні, подібно іншим термохімічним методам, але через унікальність обробки і дуже тонких поверхневих шарів, імплементація часто розглядається, як окремий клас поверхневої обробки. При металізації,

Термохімічна обробка деталей типу азотування та цементації, суттєво змінюється хімічний склад поверхневого шару. Дифузією атомів азоту або вуглецю в сталі. Термічна не змінює хімічний склад поверхні, обмежуючись швидким нагріванням та охолодженням поверхні, і таким чином отримуючи мартенситну структуру в зоні впливу.

Деякі з методів отримання покриттів такі як цементація, нітроцементація та азотування, термічна обробка, добре себе показали і продовжують

застосовуватись при виготовленні обладнання і апаратури. Проте, багато із зазначених методів мають набагато більш недавнє застосування до інструментальних та інших сталей. Більш нові методи нанесення покриттів застосовані до інструментальних сталей, включають промені високих енергій, плазму, магнітне та електричне поля, і вакуумні системи, багато з цих методів були розроблені й застосовані для кругового виробництва в електронній промисловості.

Велика кількість методів і діапазон поверхневих властивостей , які можуть бути отримані для технічних компонентів, веде розробку захисних покриттів до міждисциплінарної діяльності

Розробка покриттів залучає традиційні та інноваційні технології покриттів до технічних компонентів, і матеріалів для виготовлення складних матеріалів з властивостями, недосяжними або в матеріалі основі або поверхні. Часто існуючі технології створення покриттів застосовуються до існуючих призначень технічних компонентів, але ідеально розробки покриттів залучає призначенні компоненту зі знанням поверхневої обробки необхідно застосовувати.

Відносно впливу поверхневої обробки, товщини покриття, як відмічено в рис. (4.1). Являється критичним параметром проекту. Наприклад деякі покриття, ті що виготовляються методами PVD і CVD процесами являються більш тонкими, але забезпечують високий поверхневий опір зношуванню і більш низьке тертя в системі «інструмент-робоча частина». Однак, включення, що піддаються значному згину, або контактному напруженню, потребують більш глибокого положення глибини, як передбачено, наприклад, термохімічними або термічними методами модифікацією.

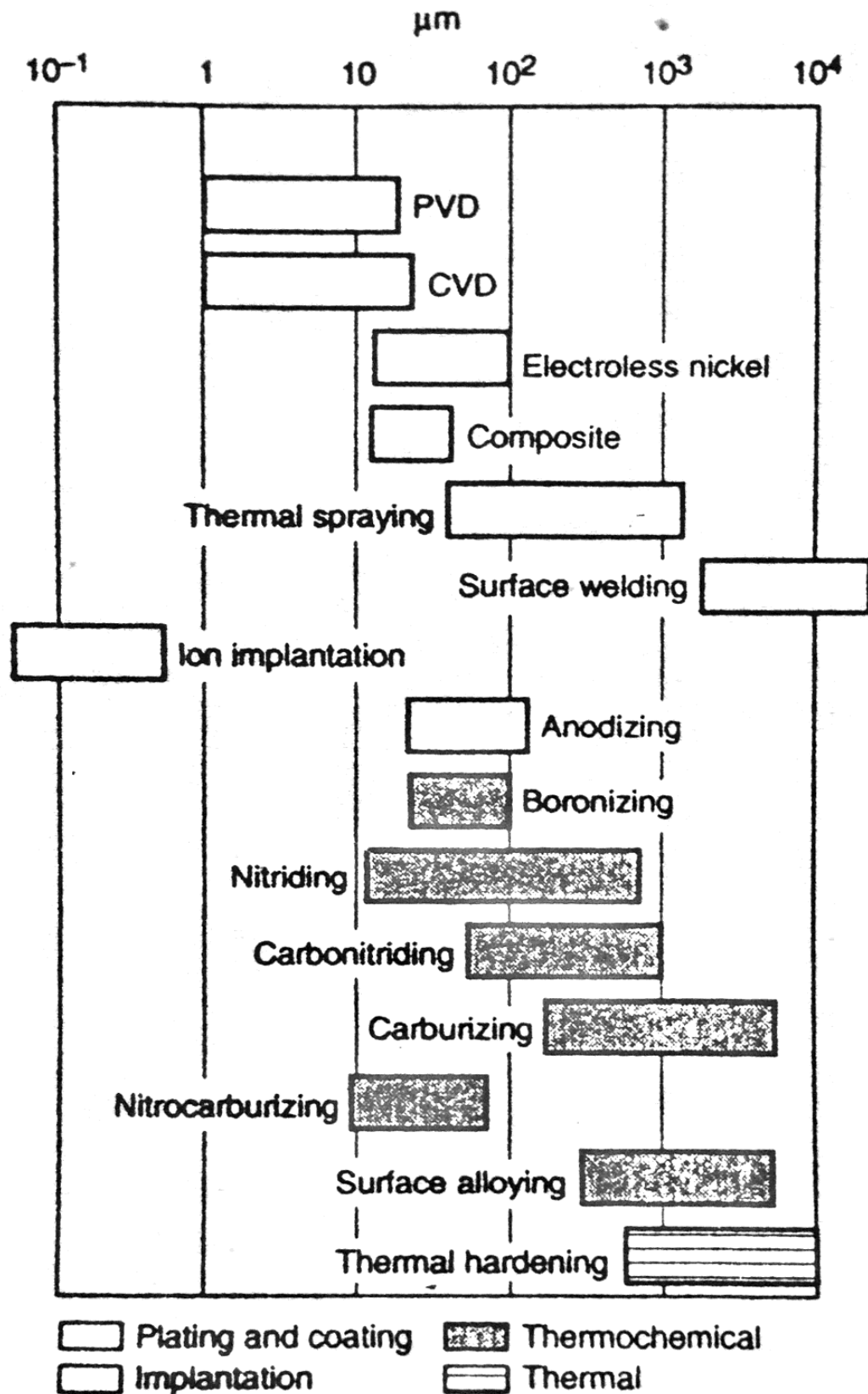


Рис. 4.1 класифікація методів створення покриттів і глибин товщини покриттів створених різними методами

Склад і призначення інструментальних сталей забезпечує виконання і твердість. Тому інструментальні сталі не отримують вигоди із традиційних

термохімічних та термічних методів в такій само степені , як поверхневе зміцнення низько-вуглецевих та середньо вуглецевих сталей, які мають.

Таким чином за виключенням низько вуглецевого типу Р-типу формують. Інструментальні сталі рідко цементують. Однак концепція складного покриття, де керамічний шар осаджений на сталі, має широке застосування для інструментальних сталей рис. (4.2).

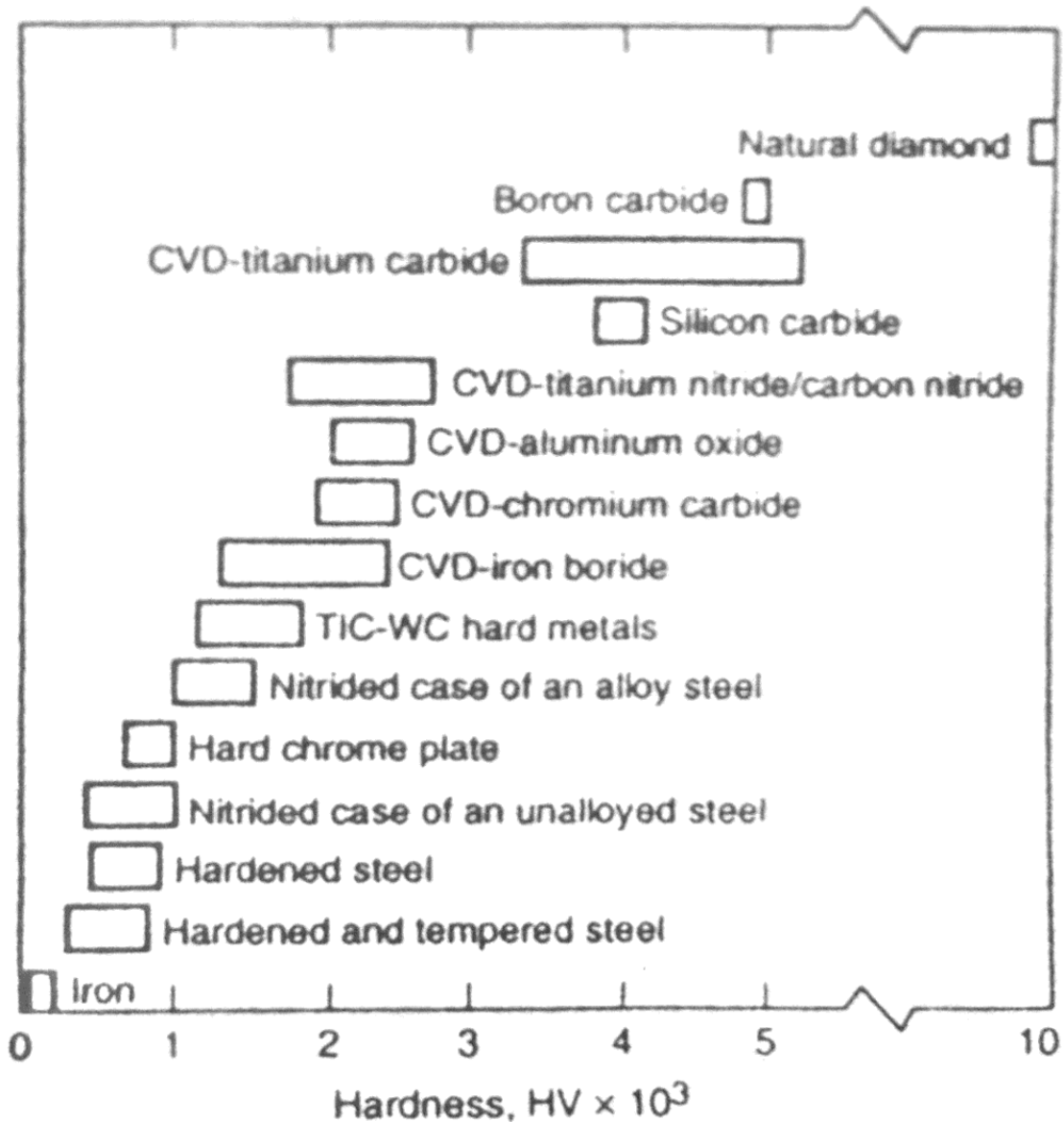


Рис. 4.2 діапазон поверхневої твердості, створюваної різними методами. Досяжний різноманітними обробками високою температурою поверхневими методами створення покриттів і матеріалами нітриди різноманітні оксиди, Борида, карбіди і нітриди забезпечують значно вищу поверхневу твердість в порівнянні з такою гартованою сталлю [2].

## 1.2 Оксидні покриття

Оксидні покриття покращують роботу сталі в умовах підвищених температур і високій інтенсивності роботи інструменту. Оксидний шар дуже стійкий до тертя і допомагає працювати без змазки. Якщо шар видалений поліруванням після то чи зруйнований.

Методи, що застосовують до швидкорізальних інструментальних сталей, які працюють при температурі 565 С, нагрівають в рідкому натрії на 5-20 хв. При 140 С для отримання шару оксиду, товщиною 5(0,2 мм), ці оксидні шари утворюють дугу над робочою частиною інструменту і в результаті значно скорочують термін роботи інструменту [46].

## 1.3 Азотування

Азотування термохімічна поверхнева обробка, яка представляє з себе насичення поверхневого шару сталі азотом який концентрується в ферумі чи відпущеному мартенситі. Таким чином на відміну від цементації, яка представляє собою збільшення вмісту вуглецю в аустеніті при високих температурах і тому потребує гартування на мартенсит, його проміжне зміцнення рівня. Азотування виконується з меншим викривленням і залишковими напруженнями. Азотування зазвичай застосовується до середньо вуглецевих сталей, що містять елементи схильні до нітридоутворення елементи: хром, алюміній, ванадій, вольфрам і молібден, які також являються головними легуючими елементами інструментальних сталей. Тому інструментальні сталі включають в себе Н11, Н12, і Н13;

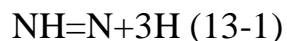
А2, А6, D2, D3 і S7, М2 і М4 швидкорізальні сталі, і Р20 піддаються азотуванню.

Різноманітні інструментальні сталі зазвичай піддаються азотуванню звичайним газом азотом і від недавно плазмою або іонним азотуванням, як описано вище в цьому пункті.

Обробка в соляній ванні застосовується для азотування інструментальних сталей, і часто в склад використовуваних солей вводять вуглець так само як і азот в поверхню робочої частини **[Помилка! Джерело посилення не знайдено.]**. Ці покриття згадані як нітроцементацийні поверхневі покриття. Азотування в рідкій фазі знаходить особливо широке застосування серед низько-вуглецевих сталей автомобільних частин. Але також часто застосовують до інструментальних сталей, швидкорізальні сталі **[Помилка! Джерело посилення не знайдено.]**.

Оскільки азот дифундує в інструментальну сталь, все це об'єднується зі сплавом елементів для отримання(формування) нітридів. розподілені в тонкому поверхневому шарі атоми азоту розміщуються у відпущеному мартенситі, що забезпечує високу твердість (1000 HV 16-2) у порівнянні зі сталями які піддаються лише гартуванню з наступним відпуском. Сплав нітридів утворює шар, також вельми стійкий до дії високих температур, зносу тертям. Як правило для азотування застосовують температуру, 500 °C. тому азотована сталь витримує тертя, і опір протягом контакту метал-метал. Збільшення в інструментальній сталі вмісту хрому знижує глибину зміцнення даного часу азотування.

Азотування найчастіше виконується в атмосфері аміаку в температурних межах 495-565 °C. Аміак розкладається на поверхні сталі згідно реакції:



Атоми азоту адсорбуються поверхнею сталі і дифундують в глибину інструменту. Через відносно низьку температуру азоту і того факту, що азот вступає у взаємодію з елементами сплаву, оскільки азот поширюється в сталі шляхом дифузії, тривалість азотування вельми велика, в межах від 10 до 130 годин в залежності від застосування сталі та ТО. Азотування в цементацийний шар здійснюється на відносно не велику глибину, частіше всього вона не досягає 0,5 мм а зазвичай становить 0,1 мм. Перед азотуванням твердіюча сталь повинна бути близькою до а температурі азотування для того, щоб

створити структуру серцевини, яка не відпуститься впродовж тривалого процесу азотування. Ці вимоги добре зіставляються з температурою вторинного гартування багатьох інструментальних сталей. Плазмове або іонне азотування найбільш сучасні методи, які доволі непогано описані в літературі [8]. Плазмове азотування здійснюється у вакуумі холодостінній камері у, якій робоча частина катод (негативна), а стінки камери анод. Спочатку вуглець застосовується для очищення робочої частини, а потім сполук азоту і вуглецю, для азотної стадії доданої до камери. Прикладений напрямлений струм потенціал повного робочої поверхні і містить виробляють плазму.

Плазма складається з іонів, електронів, заряджених і нейтральних атомів і молекул. Утворюють однорідне пурпурне свічіння навколо робочої області катоду. Атоми азоту дифундують із заготовкою, яка розігріта до температури азотування через зіткнення плазмонепрямлених азотних іонів і атомів тому не потребує додаткового нагріву. Покращення зносу та корозійної стійкості головні переваги азотованих покриттів. Цей процес описаний в [Помилка! жерело посилання не знайдено.].

#### **1.4 Іонна імплантація**

Іонна імплантація це процес зміни хімічного складу та властивостей поверхні заготовки під впливом потоку високоенергетичних іонів. Рис. 1.3 показує що іонна імплантація являє собою унікальний клас обробки і, що її глибина дещо обмежена. Іонний промінь створений у джерелі, яке іонізує атоми газу потоком випромінюваних електронів з енергією від 100 до 200 еВ. Промінь іонів фокусований і видобутий із джерела вихідного електрода.

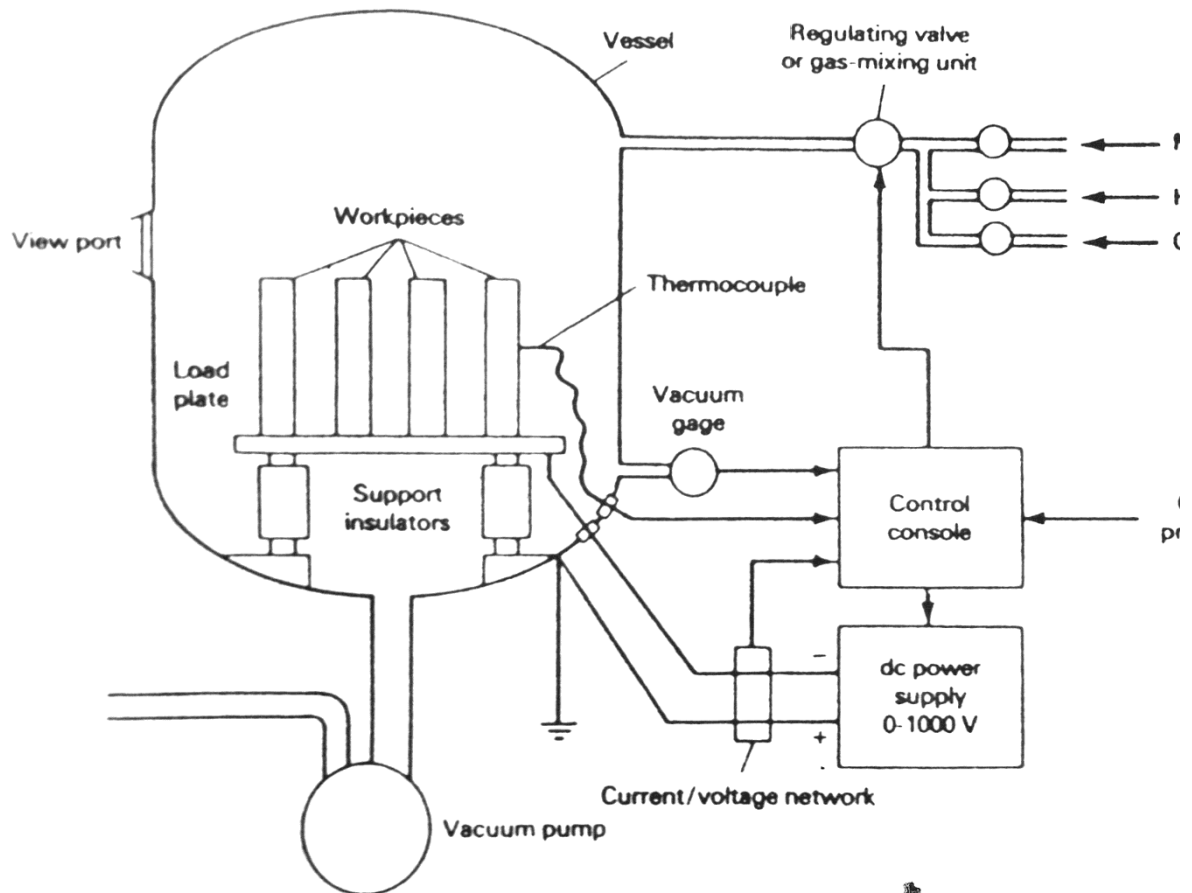


Рис. 1.3 - Схема типової іонно-нітридної камери

Іонна імплантація супроводжується виділенням великої кількості теплоти, високою твердістю отриманого шару причиною якої є велика кількість дефектів утворених під впливом іонів. Імплантація в основному проходить при температурах близьких до кімнатної; отже, її глибина більшою мірою визначається траєкторією іонів під час зіткнення, а не дифузією атомів.

Любого виду іон може бути імпантований, але азот зазвичай насаджується в сталь для покращення около поверхневої корозійної стійкості і трибологічних властивостей. Як було зазначено раніше, глибина імплантація дуже мала порядку (мкм) порівняно з азотною глибиною цементованого шару. Низька температура іонної імплантації призводить до майже повної відсутності напружень.

Іонна імплантація може бути накладена на інші покриття. Наприклад, тонке покриття отримане методом PVD, як описано вище може піддаватись

іонному бомбардуванню. В доповнення до походження точкових дефектів в зоні зіткнення, вплив іонного променя може бути причиною змішування деяких атомів покриття в основі. Змішування покриття і атомів основи називається «іонно-променевим змішуванням» перевагою є відмінне з'єднання основи з покриттям. Коли іонний промінь застосовувався паралельно до методу осадження покриття, об'єднавши обробку посилавшись на допоміжний іон або допоміжний іонно-променевий осадок [Помилка! жерело посилання не знайдено., 5].

#### 1.4 Хімічне та фізичне осадження з газової фази

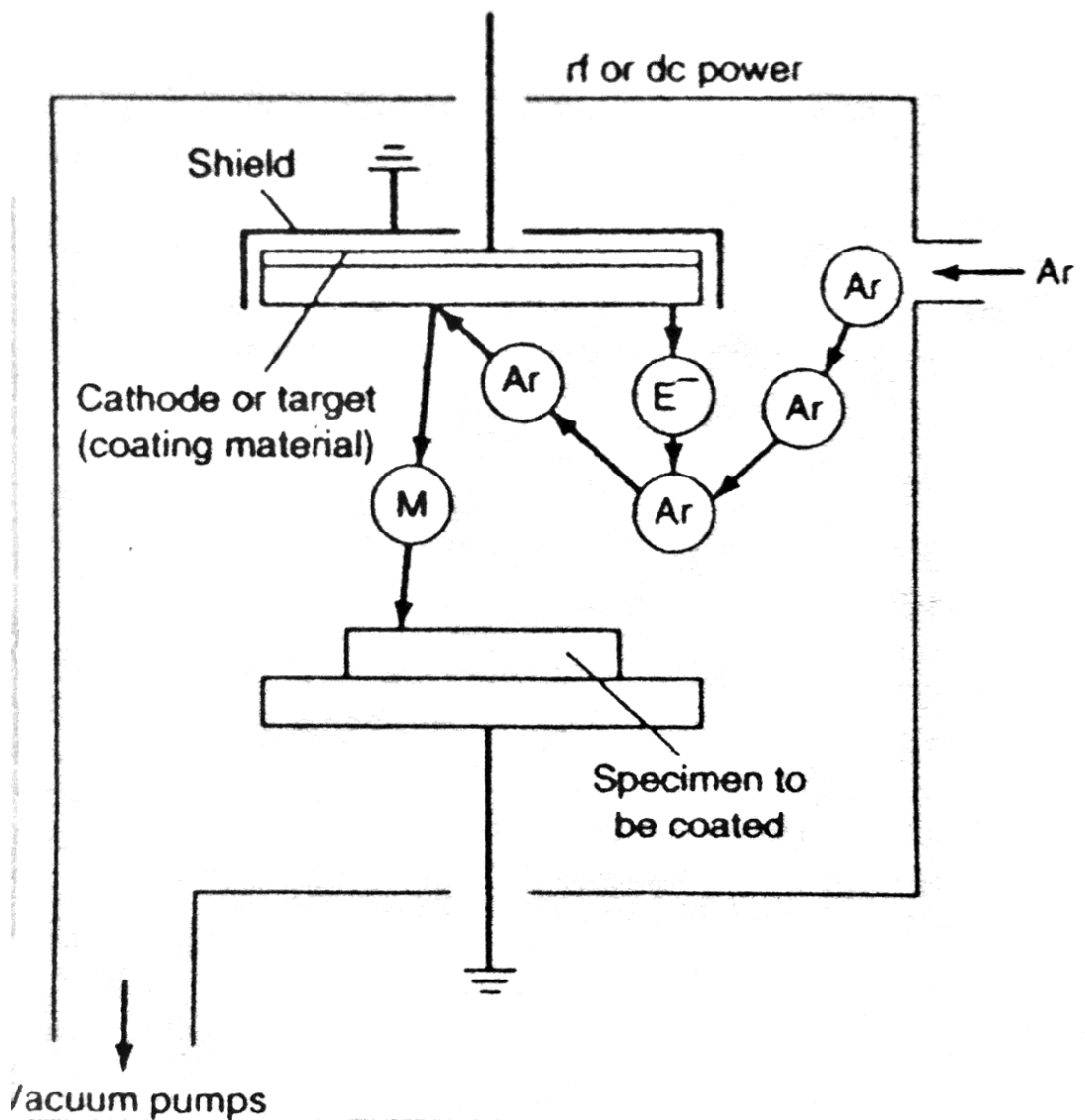
Два зовсім різних способи нанесення покриттів використовуються для осадження тонких покриттів або шарів керамічного складу, котрі забезпечують необхідний рівень опору зносу і збільшують термін експлуатації основи інструментальної сталі. Фізичне осадження фізично генерує і осаджує атоми, або молекули у глибоких-вакуумних умовах. Потік атомів, який зіштовхується з основою може створюватись різноманітними способами. Хімічне осадження піддає основу реакціями з газами, які підібрані таким чином щоб утворити на поверхні необхідну фазу [Помилка! Джерело посилання не знайдено.].

Процеси PVD здійснюються у глибокому вакуумі і покриваючі атоми проходять порівняно велику відстань без зіткнень (Помилка! Джерело осилання не знайдено.). CVD здійснюється при атмосферному тиску, а отже має більшу ходову потужність або здатність рівномірного покриття складної форми. Фізичний процес осадження для покриття TiN зазвичай здійснюють при температурі основи близько 500 С, оскільки температури в процесах CVD більш високі, зазвичай близько 1000 С. таким чином інструментальні сталі покриті методом PVD не повинні оброблятися термічно після осадження, оскільки інструментальні сталі покриті CVD способом повинні затвердіти після нанесення. Не дивлячись на перегрів, тверда обробка прилагавшаяся до CVD TiN покриття сталі D2...

Покриття атомів у процесі PVD може генеруватись випаровуванням, опилуванням, або іонним покриттям у вакуумному середовищі. Коли гази такі, як азот, метан або кисень представлені у вакуумній камері, атоми металу реагують з атомами газу, що утворює нітриди, карбіди або оксиди, а процеси PVD називають хімічно активними процесами. Випаровування виконується шляхом нагріву вихідного матеріалу у глибокому вакуумі (10-6 кПа або 7.5\*10-6 або краще) щоб викликати термічне випаровування атомів або молекул, які переміщуються у вакуумі і осаджуються в поверхні основи.

Процес осадження базується виключно на випаровуванні, будучи заміненим на більш ефективний, напилювальний або іонний процесом, використовує розряд плазми.

Напилювання – це покривальний процес PVD, в якому атоми добуваються механічно завдяки зіткненням іонів або енергетично нейтральних атомів. Ри. 1.4 схематично зображує механізм напилювання в простій діодній системі (31). Камера першочергово звільняється, потім заповнюється газом аргоном, а об'єкт робиться катодним або негативним прикладанням постійного струму потенціалом між 500 і 5000 В.



Малюнок 1.4.1- механізм напилювання в простій діодній системі

Навколо катоду проводиться розрядження плазми під низьким тиском з виділенням позитивно заряджених іонів аргону, який прямує до цїлі. Моментальна передача під час зіткнення іонів аргону достатньо для досягнення цїлі атомами, які переміщуються по інших частинах камери. Механічний обмін атомами розбризуванням більш контрольований ніж обмін атомами термічним випаровуванням, а розбризування атомів має більшу енергію (30). Простий діод розбрикує системи, які мають нищій рівень зміщення. Це призводить до винайдення наплювальної системи з магнітними полями застосовними до цїлі. Результатом процесу є наплювач зображений на рис. 1.5 (31).

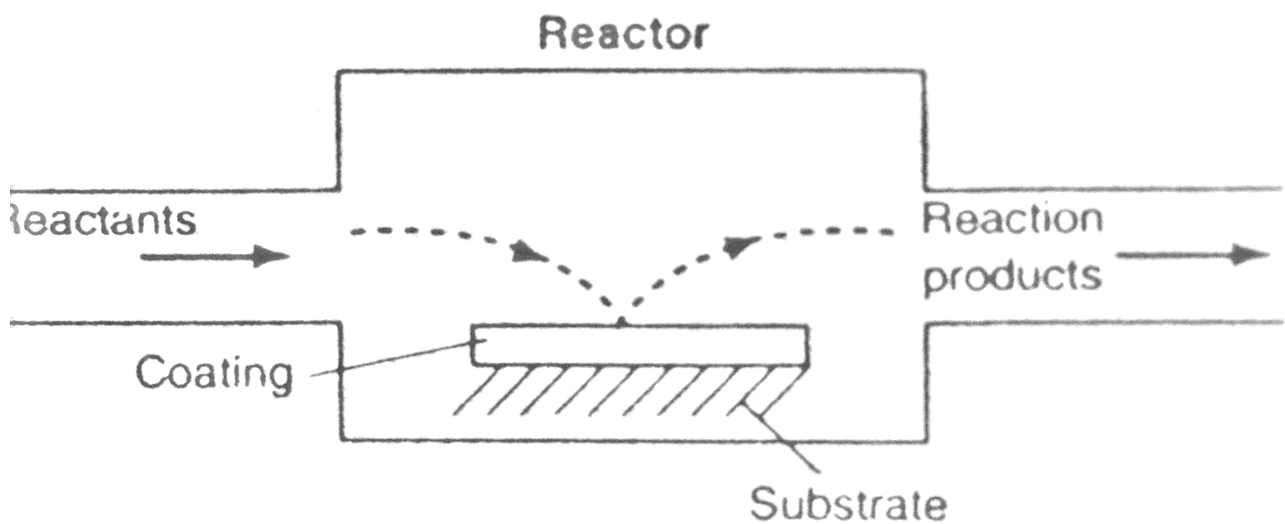


Рис. 1.5 - наплювач з магнітними полями застосованими до цїлі

Магнітні поля виловлюють вторинні іони генеровані цїллю завдяки іонізації на плазмовому катоді. Таким чином більше іонів аргону вдаряє ціль, і як наплення, так як норми зміщення значно збільшені відносно діодного наплення. Більш пізня модифікація магнітного розприскувача приставляє собою розбалансовану модель попереднього покоління (32). В даному процесі ( на відміну від звичайного наплення, де магнітне поле близько обмежене цїллю) і розплювачем, який пов'язаний з іонним бомбардуванням основи. Результатом розбалансованого магнітного розплювача являється виготовлення комплексного шару(32).

### 1.5 Покриття в соляній ванні

Жорсткий сплав карбідних, нітридних, і карбонітридних покриттів можуть бути застосовані до сталей за допомогою обробки. Одна така методика, процес TD, застосовує литу буру з хромом формуючи карбід елементи об'єднуються з вуглецем із сталльної основи, щоб провести рівні сплаву карбиду чи покриття, подібні виготовленим PVD і CVD методами. Однак, ріст покриттів залежить від поширення вуглецю, і процес потребує відносно високих температур, між 800 і 1250 С, щоб підтримувати адекватний ріст покриття. Карбід, покриваючий товщини 4-7 мм виготовлений в межах від 8 до 10 годин, в залежності від температури ванни, і типу сталі, покриття сталі можуть бути охолодженими і повторно нагрітими для зміцнення, або температура ванни може бути обрана, щоб надати сталі температуру аустенізації, дозволяючи пройти перетворенню в сталі після нанесення покриття.

Щоб знизити температуру зміщення соляної ванни, методи для виробництва сплаву були розроблені карбонітридні рівні [7]. Такі покриття сталі можуть бути виготовлені на азотованих сталях у ванадії температурах між 550 і 660 С. Азотована поверхня жертвує азот покриттю, і ріст карбиду не значний у відносно низьких температурах обробки.

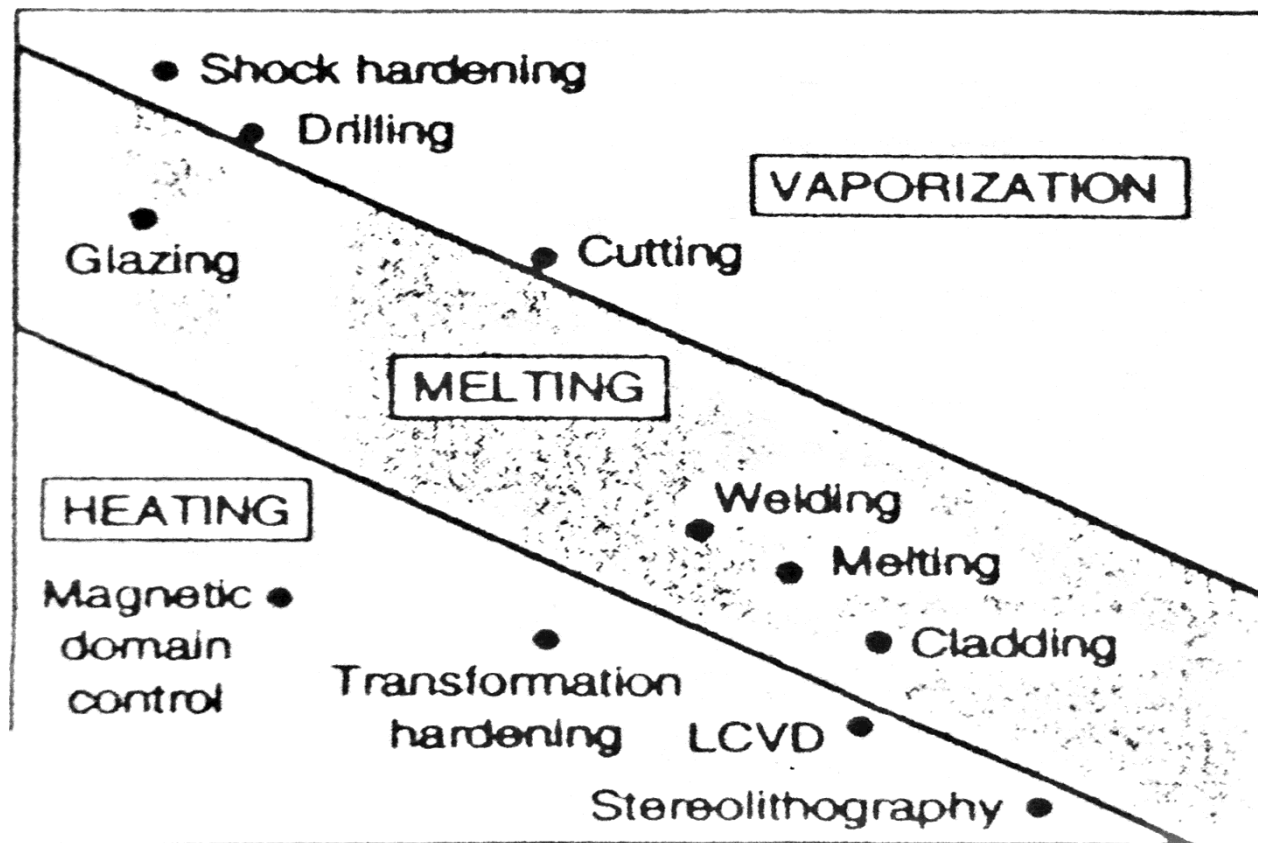
### **1.6 Лазерне і променеве обробка нанесення покриттів**

Лазерні і електронні промені забезпечують дуже високу енергію напрямленого джерела тепла і використовуються для багатьох типів поверхневої модифікації. В залежності від потужності лазера відрізняється застосування, включаючи вирізання, зварку, плавлення поверхні і отримання сплаву, і обмежене зміцнення поверхні [10]. Технології зварювання і різання високо розвинені і слідували за неперервним розвитком джерел променів високих енергій [10]. Лазерні і електронно-променеві методи модифікації поверхні, обмежені міцністю поверхні, найбільш широко розвинені і розповсюджені. За рахунок нагрівання лазерними та електронними променями здійснюється взаємодія фотонів з електронною структурою матеріалу.

Присутня енергія дуже швидко перетворюється у температуру під поверхнею, в порядку десятка нанометрів для лазерного світла і декількох мікрон для електронних променів, в залежності від прискорюючої напруги, яка вимірюються між 10 і 100 keV. Електронно-променева обробка здійснюється в умовах вакууму, проте лазерний промінь не підпорядковується даному обмеженню і тому пропонує високу гнучкість в промислових операціях. Також на відміну від індукційного і нагріву полум'ям, лазер може бути розташований на деякій відстані від робочої ділянки і світло лазера може бути відзеркалене до фокусуєчих лінз, які керують шириною нагрітої плями або напрямком [60].

Термін лазер для «легке збільшення для симулювання виділення радіації» і три типи лазерів були розвинені а Ng jag( неодимій розчинений в ітрій алюмінієвій гранаті). Лазерний промінь може бути відзеркалений матеріалом в залежності довжини хвилі. Тому довжина хвилі лазера повинна бути підібрана таким чином щоб поглинатись матеріалом або ж матеріал слід покрити світло поглинаючою речовиною [48].

Термічна обробка поверхні за допомогою лазерного або електронного променів застосовується для вибіркового зміцнення. Висока температура, з генерована випроміненням контролюється для запобігання оплавленню поверхні. При цьому локальні області можуть бути аустенізовані. Швидко охолодження аустенізованих зон може призвести до утворення мартенситних структур. Використання лазера для нагрівання поверхні до високих температур іноді називають лазерним зміцненням поверхні, як зазначено в рис. 1.6, щоб відділити від процесу плавлення поверхні лазером.



Малюнок 1.6 – Процеси станів для різних методів

Поверхнева обробка лазером створює тонкі поверхневі зони, які швидко нагріваються і охолоджуються. Таким чином короблення мінімальне. Більшість методів призначені для збільшення опору зношенню компонентів механізму. Виготовлених з середньо-вуглецевих сталей.

На відміну від зміцнення, плавлення поверхні лазерним і електронним променями, як показано схематично в рис.16-16, дають можливість отримання сплаву на поверхні і унікальних мікроструктур кристалізації. Нагрів і охолодження може бути надзвичайно швидким, порядку наносекунд, що проводиться теплопровідність в не нагріту масу основи, проходить також дуже швидко. Точні норми нагріву і охолодження залежать від багатьох факторів, типу введених даних потужності, часу випромінення, лазерної пульсації, і характеристик поверхні та об'єму основи. (48).

Лазерне й електронне отримання сплавів на поверхні променем може бути здійснено, вводом на поверхневий шар чи іншим методом нанесення покриттів до опромінення [Помилка! Джерело посилання не знайдено].

Оскільки ціль обробки полягає у створенні аморфного або гладкого шару, тоді такий процес розглядається як лазерний відпал. Скло утворення в матеріалах типу кремнію, Pd-Cu-Si і Fe-Ns-P-B сплавів легко здійснюється, проте значно утруднене в металах. Наприклад вивчення лазерного відпалу заліза та інструментальних сталей, які були боровані, щоб здійснити аморфізацію, не було підтверджено аморфних структур [4]. Однак лазерне утворення поверхневого сплаву на інструментальних сталях приводило до утворення поверхневого шару високої твердості, 2100 HV, включаючого красиву боридну плівку.

У лазерно-розплавлених поверхнях, створених при повільному переміщенні, значно вища максимальна твердість, порівняно з традиційними сталями після термічної обробки, що включала потрійний відпуск, очевидно через більшу розчинність в литій зоні розплавлених елементів, які були доступні для осадження під час відпуску. Значне збільшення робочого терміну лазерним плавленням, порівняно з тими, які були зміцнені традиційними методами, були описано [1].

## 1.7 Боридні покриття

Борування - термохімічний процес, який створює зносостійкі покриття бориду на інструментальних сталях, вуглецевих та легованих, та інших матеріалах [3-**Помилка! Джерело посилання не знайдено.**]. бор може водитись з газу, рідини, твердої фази, а також плазмою, PVD і CVD методами. Методи використання борування а також склад були оцінені [3]. Застосування твердого джерела бору в значній степені карбід бору, як правило зміцнюючими інструментальними сталями в порошках або використанням вставок, довело найбільш технічно життєздатний метод борування [**Помилка! жерело посилання не знайдено.**]. Сталі борують в температурних межах 850 і 950 0C, і шар ферум бор, Fe<sub>2</sub>B формується на поверхні FeB також може утворюватися на поверхні, але є небажаним через схильність до відшарування від поверхні основи. Деякі елементи, типу хрому, молібдену,

нікелю, марганцю, ванадію, і кобальту включені в шар бориду, а інші такі як кремній, алюміній, і мідь, небажані в шарі бориду. таким чином, більшість легуючих елементів затримують ріст шару бориду до деякої степені і мають властивість зменшувати товщину боридного покриття.

Борований шар має високу твердість, між 18 і 20 GPa (1800 і 2000kgf/mm<sup>2</sup>), і тому забезпечує високу міцність, особливо викликану абразивними частинками, боровані покриття зазвичай мають товщину порядку 50 – 150  $\mu\text{m}$  (2 – 6 mils) таким чином не забезпечують хорошого опору в той час коли цементовані і азотовані сталі з більшою товщиною. Швидкорізальні сталі не боруються через їх високу температуру гартування яка становить 1150 °C, евтектичне перетворення проходить FeV **[Помилка! Джерело посилання е знайдено.]**.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

### 2.1 Матеріали

Матеріал обраний для багатьох компонентів Ti-Al покриттів марки У8А.

Сталь У8А, яка працює в умовах що не викликають розігріву ріжучої кромки використовується для виготовлення фрез, зенківок, сокир, стамесок, долот, ножівок, кернів та інших інструментів.

Таблиця 2.1 – Хімічні елементи мех. властивості середньо вуглецевої інструментальної сталі У8А (ГОСТ 103-2006) [44]

Клас	C, %	Cr, %	Ni, %	Si, %	Fe, %	Термічна обробка [3]	$\sigma_B$ , МПа [3]	$\delta$ , %, [3]
аустенітний	0,76 - 0,83	до 0,2	до 0,2	0,17 - 0,33	98	гартування від 780 – 800 °С	520	40

Використовували зразки У8А  $d=10$  мм і  $h=0,5$  мм та протирали спиртом

### 2.2 Методика нанесення покриттів

Провидили азотування за стандартно методикою в аміаку  $550^{\circ}\text{C}$ , 20 годин. TiN отриманий на ВУ1Б фізичним осадженням  $600^{\circ}\text{C}$  впродовж 20 хвилин. Хромували в порошках Cr і  $\text{CCl}_4$  [14] в контейнерах з затвором наступного складу  $\text{Ti}40\%+\text{Al}15\%+\text{NH}_4\text{Cl}5\%+\text{Al}_2\text{O}_340\%$  та -  $\text{Ti}15\%+\text{Al}15\%+\text{Cr}25\%+\text{NH}_4\text{Cl}5\%+\text{Al}_2\text{O}_340\%$ . Аналіз програмою Powder Cell 2.2. Хімічний аналіз на електронних мікроскопах Jeol ISM. Мікроструктуру на Neophot 7, мікротвердість – ПМТ 3

### 2.3 Рентгеноструктурний аналіз

Аналіз фаз на ДРОН УМ-1. Фокусування по Бреггу-Брентано Проводили лінійну ідентифікацію для якісного та кількісного аналізу. Інтенсивність ліній різноманітна.

Закон Вульфа-Брегга при куті  $2\theta$ .

Дифрактограми знімали за стандартною методикою крокового сканування 0,08 і 9 секунд.

Програмний пакет Powder Cell 2.4 [19]. Дифрактограми порівнювали з еталоном,.

### 2.4 Мікрорентгеноспектральний аналіз

Хімічний аналіз встановлює розподілу хімічних елементів сплавах, [20, 21]. мікрообластей шліфа. Структура, хімічний склад покриттів виконували на електронних мікроскопах.

### 2.5 Мікроструктурний та дюрOMETричний аналіз

Виготовляли мікрошліфи: грубе шліфування на наждачці різних зерен, Полірували кругах на фетрі з  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . **[Помилка! Джерело посилання не знайдено.]**.

Мікроструктуру виявляли травленням відомими травниками Марбля і царську горілку. Мікроструктуру досліджували на Neophot 8 ZEISS Ахіо. в 1500 разів. Фотографували камерою Размер 5.0.

Мікротвердсть і товщину на ПМТ-3 провидили за стандартними формулами

# 1. ВЛАСТИВОСТІ ДИФУЗІЙНИХ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ПОКРИТТІВ ЗА УЧАСТЮ ТИТАНУ, АЛЮМІНІЮ, ХРОМУ, ТА АЗОТУ НА СТАЛІ У8А

## 3.1 Фазовий склад дифузійних покриттів

На сталі У8А після азотування формується  $Fe_4N$ ,  $Fe_2N$  та азотування.  $Fe_3O_4$ .

Після хромування У8А покриття з  $Cr_7C_3$ ,  $Cr_{23}C_6$ ,  $\sigma$ -фази. Перед титаноалітуванням наносили  $TiN$  4,5 – 5,5 мкм. має жовтий колір. Рентгенофазовим аналізом період ґратки  $TiN$  0,4238 нм.

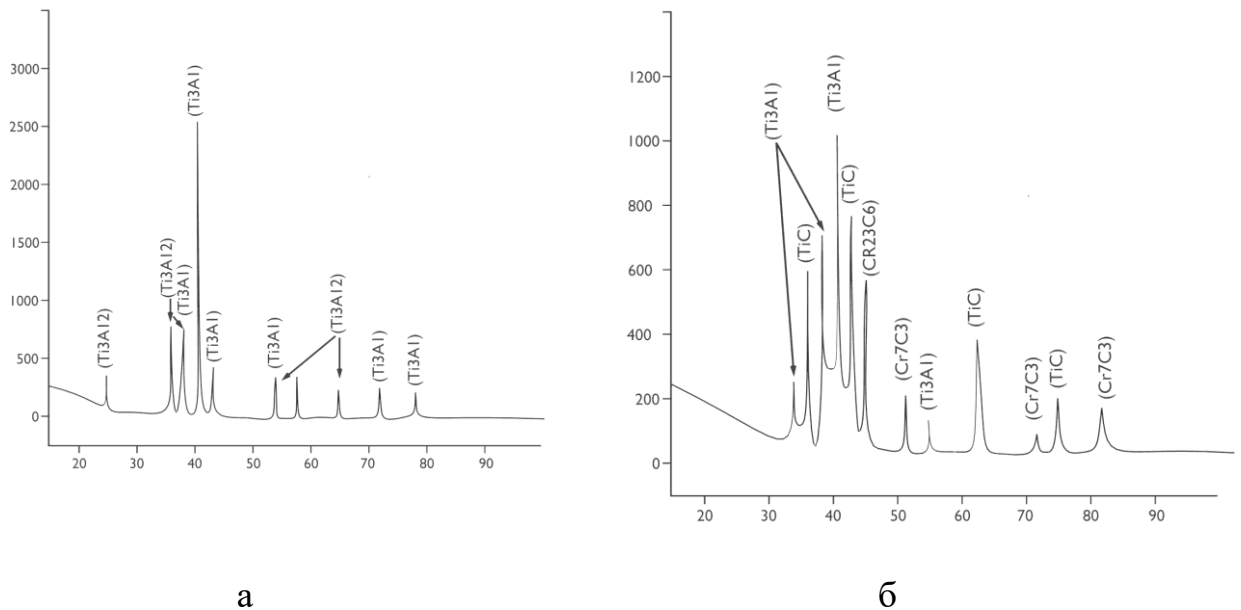


Рис. 3.1. Дифрактограми сталі У8А

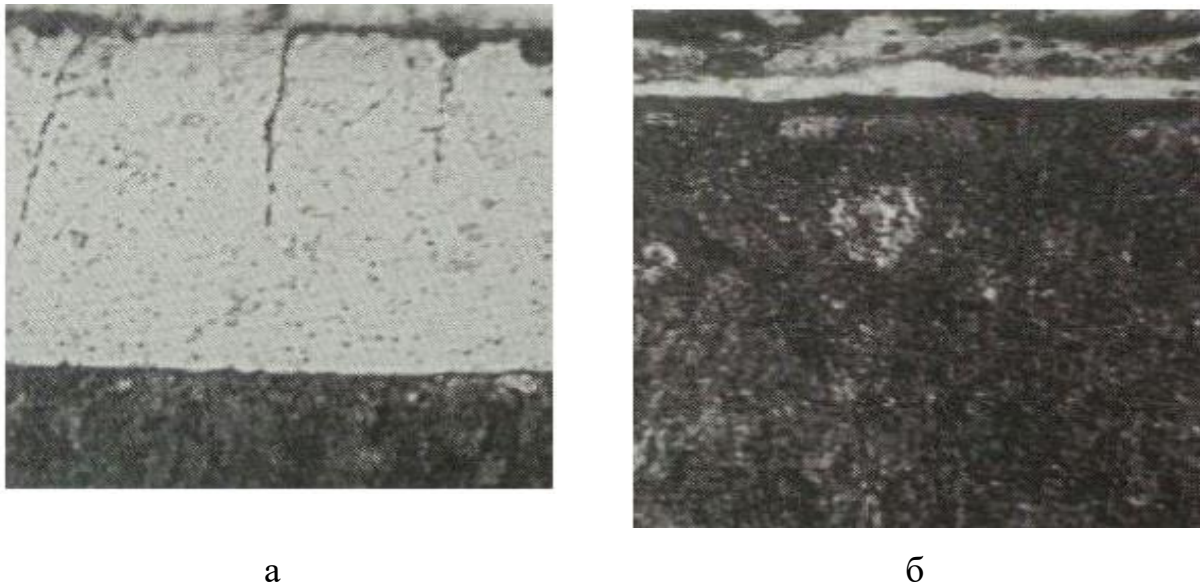


Рис. 3.2. Мікроструктури Ti-Al-Cr сталі У8А

Титаноалітування сталі У8А зникає  $Fe_4N$ ,  $Fe_3N$ , змінюється зона азотування. титаноалітування азотованої сталі є  $TiC$ ,  $TiN$ ,  $Fe_2(Ti,Al)$ ,  $Fe_2(Ti,Al)_4O$ ,  $Al_2O_3$ .  $TiN$  є бар'єрний, впливає на відсутність в покритті  $Fe_2(Ti,Al)$ ,  $Fe\alpha(Al)$ . Всі шари крім шару  $TiN$  за рахунок екстракції елементів основи їх взаємодії з насичуючими елементами.  $TiN$  в покритті спиняє дифузійний потік С до поверхні. Це менша товщина  $TiC$  в покриттях

можлива дисоціація карбідів хрому вуглець взаємодіє з титаном і утворенням карбиду  $TiC$ , з хромом інтерметалідів 9,0 мкм.

Загальна товщина досягає 35,0 – 36,0 мкм. Товщина інтерметалідів 12,5 мкм,  $TiC$  – 9,0 мкм.

$TiN$  з наступним титаноалюмохромуванням наносили в порошковій суміші :  $Ti15\%+Al15\%+Cr25\%$ ,  $NH_4Cl5\%$ ,  $Al_2O_340\%$  при  $T=1050$ , 4 години. Фазовий склад  $TiN$ ,  $TiC$ , зовні –інтерметаліди  $Ti$ ,  $Al$ ,  $Cr$ ,  $Fe$ . Сполука Лавеса  $TiAlCr$   $a = 0,3008$ ,  $c = 0,8156$  нм. в центральній зоні інтерметалідів.

Зовнішній  $Ti_{12}Al_{16}Cr_{50}Fe_{22}$  є сполукою  $FeCr$  б-фаза, шар біля сполуки  $TiC$   $Ti_{30}Al_{13}Cr_9Fe_{48}$   $FeTi$ .

### 3.2 Хімічний склад дифузійних покриттів на сталі У8А

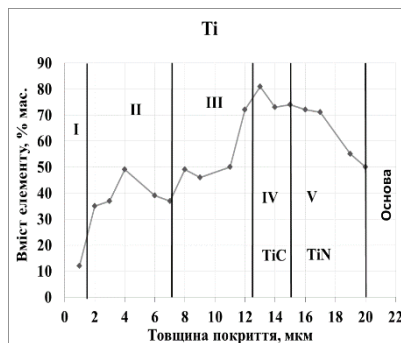
Визначений хімічний склад покриттів. Встановлено що Al 13,4 – 13,6 % по масі. (рис. 3). Концентрація Cr в  $TiCr_2$  – 66,4% . Шар  $TiC$ , товщиною 6,0 мкм, є 80,0 % Ti та Al 0,2 % і Cr 0,3 %. До основи зростає концентрація Fe та Cr, зменшуються Ti, Al відповідно до 0,1 % та 0,2 %.

Розподіл елементів в зонах покриття шарів TiN, TiC Al і Cr 0,1 і 0,6 % по масі хрому на зовнішній стороні покриття в фазі Лавеса  $a = 0,5009$ ,  $c = 0,8161$  нм, є 50,0% мас.

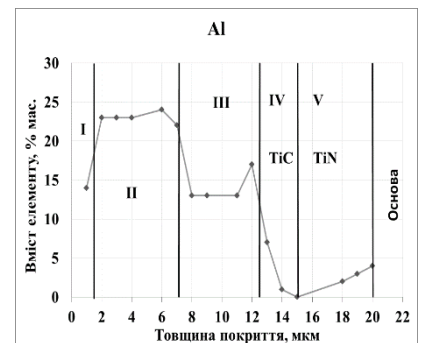
фазового складу та розподілу джерелом заліза для покриттів є основа; хрому – для покриття - карбідохромові покриття, титана, алюмінія для покриттів, азоту нітрид TiN. Функції бар'єрного шару є карбідів Cr та TiN.



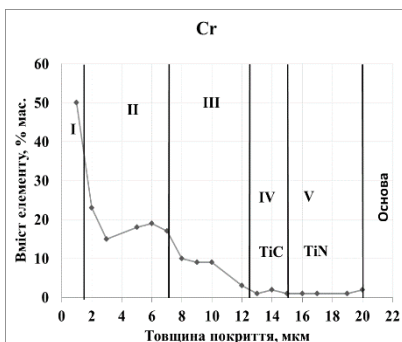
а



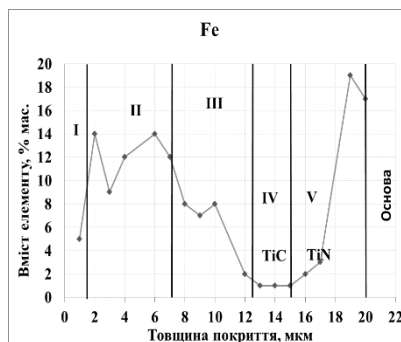
б



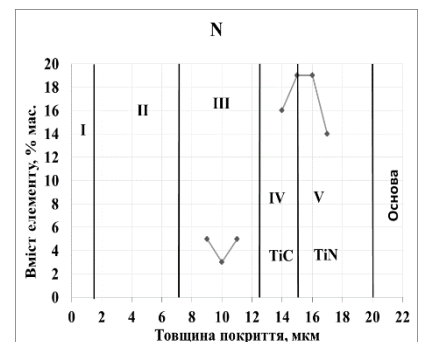
в



г



д



е

Рис. 3.3 Мікроструктура У8А з TiN

Мікротвердість окремих складових покриття змінюється  $TiC$  – 30,6 ГПа,  $TiN$  – 20,0 ГПа,  $Cr_7C_3$ ,  $Cr_{23}C_6$  – 17,0 ГПа,

Покриття мають вигляд світлих полос розподілу покриття-основа. Пори мікротріщини відсутні.

#### 4.1 Мікротвердість дифузійних багатокомпонентних покриттів на сталі У8А

Найбільш висока мікротвердість була виявлена для шарів TiC – 30,6 – 36,0 ГПа; шарів TiN – 20,0 – 20,5 ГПа; шарів карбідів хрому – 17,0 ГПа; інтерметалідів – 5,8 – 12,4 ГПа. Встановлена висока мікротвердість для деяких шарів інтерметалідів (12,4 ГПа) зумовлена розчиненням азоту в даних сполуках.

#### 4.2 Жаростійкість дифузійних багатокомпонентних покриттів на сталі У8А

Температура та час випробувань  $1000^{\circ}\text{C}$  100 годин з аналізу шар оксидів впливає на жаростійкість покриття.

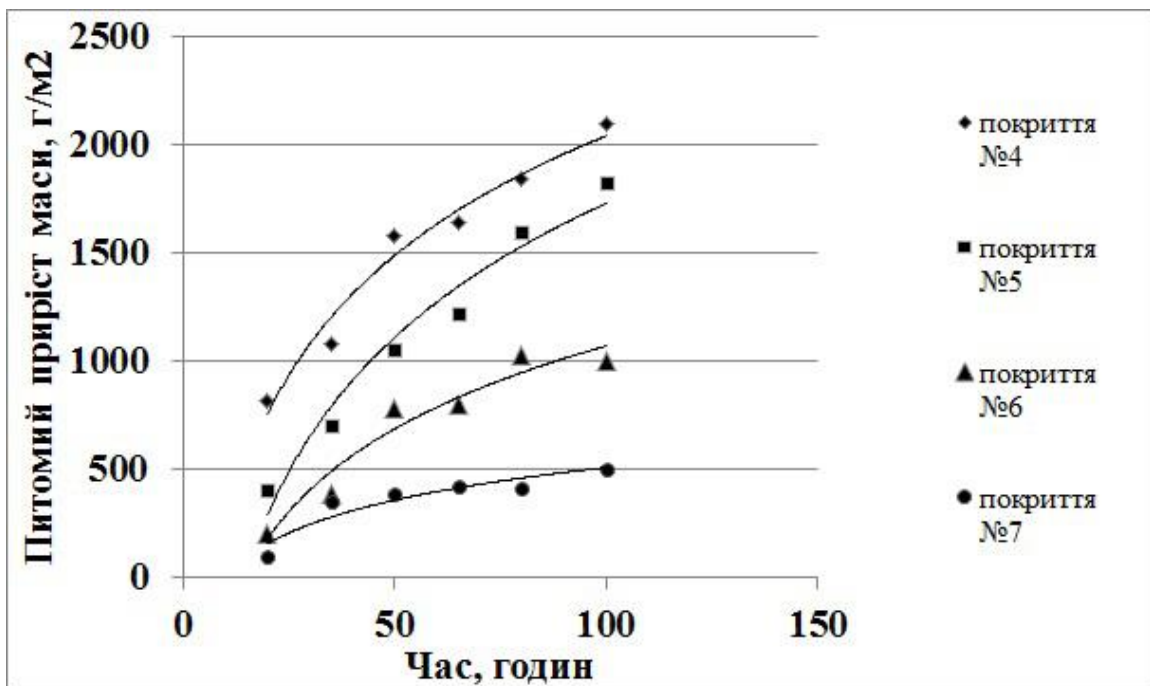


Рис. 3.4 Криві окислення У8А з покриттями,  $1000^{\circ}\text{C}$ , 100 годин.

жаростійкість покриттів № 6,7 є найбільшою. Після окислення формується темно-сірого кольору оксидна плівка,. Перевагою покриттів є наявність  $(AlCr)_2O_3$  [12,18,19]. оксидів  $TiO_2$  та  $Al_2O_3$  з поганими захисними властивостями [Помилка! Джерело посилання не знайдено.,Помилка! Джерело посилання знайдено.].

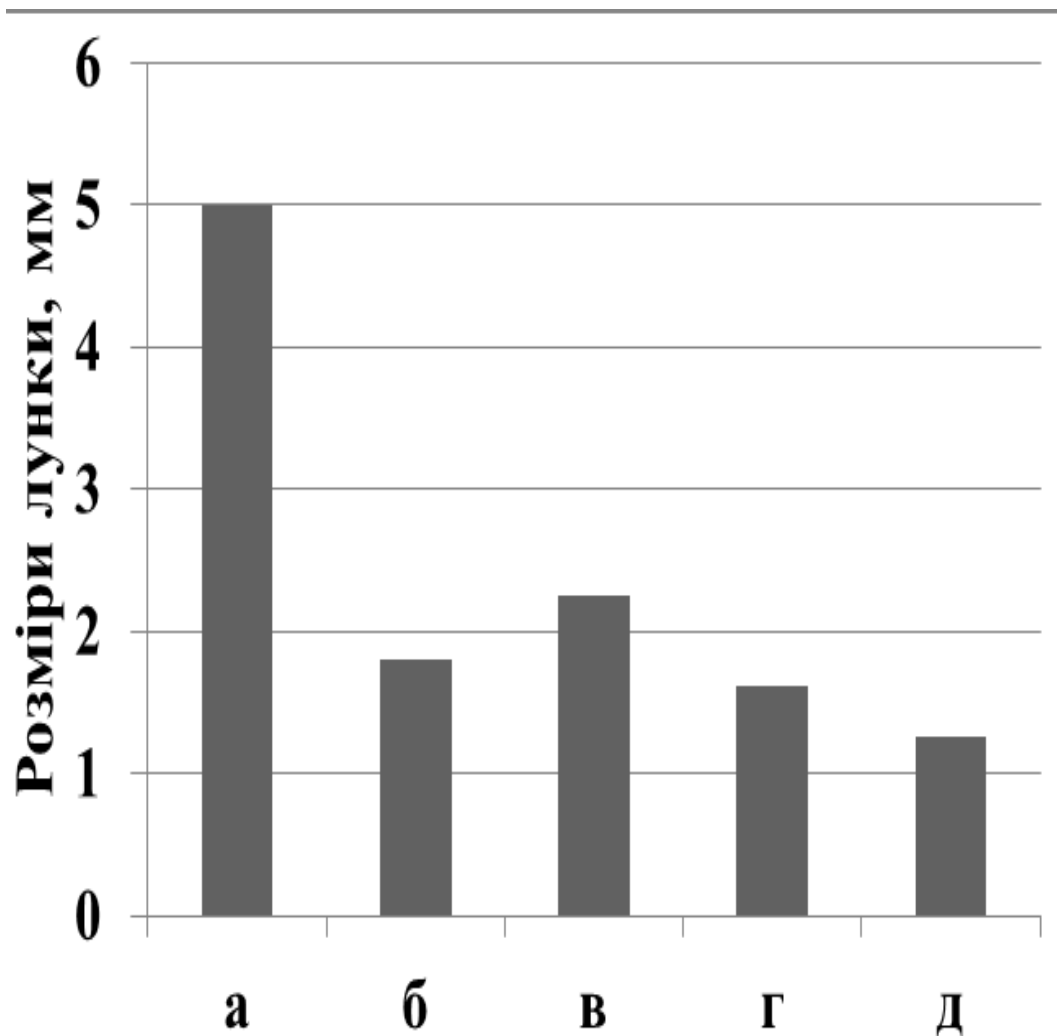
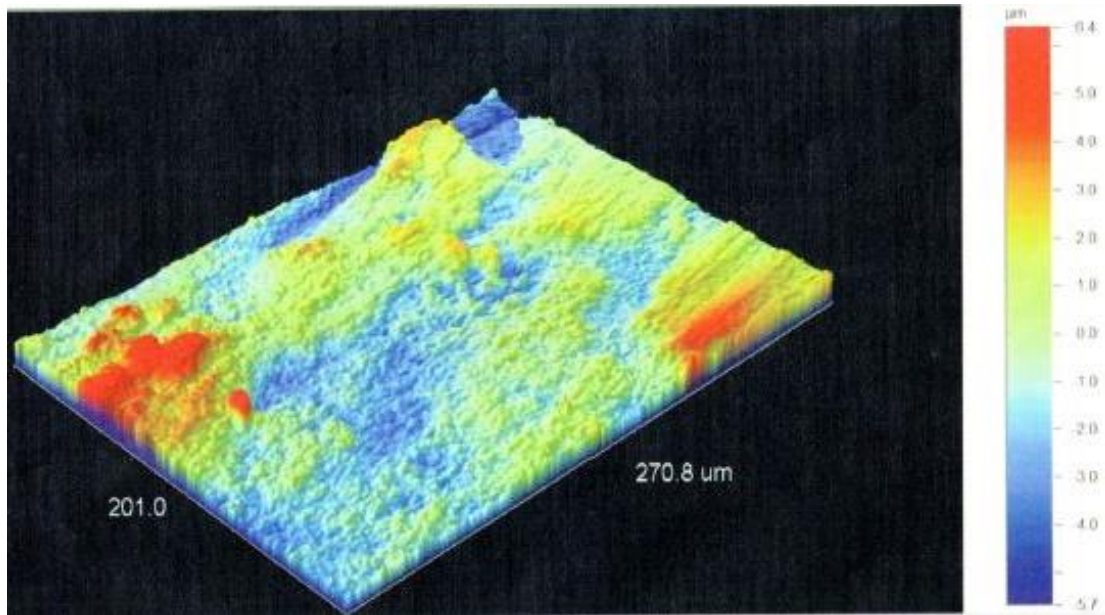
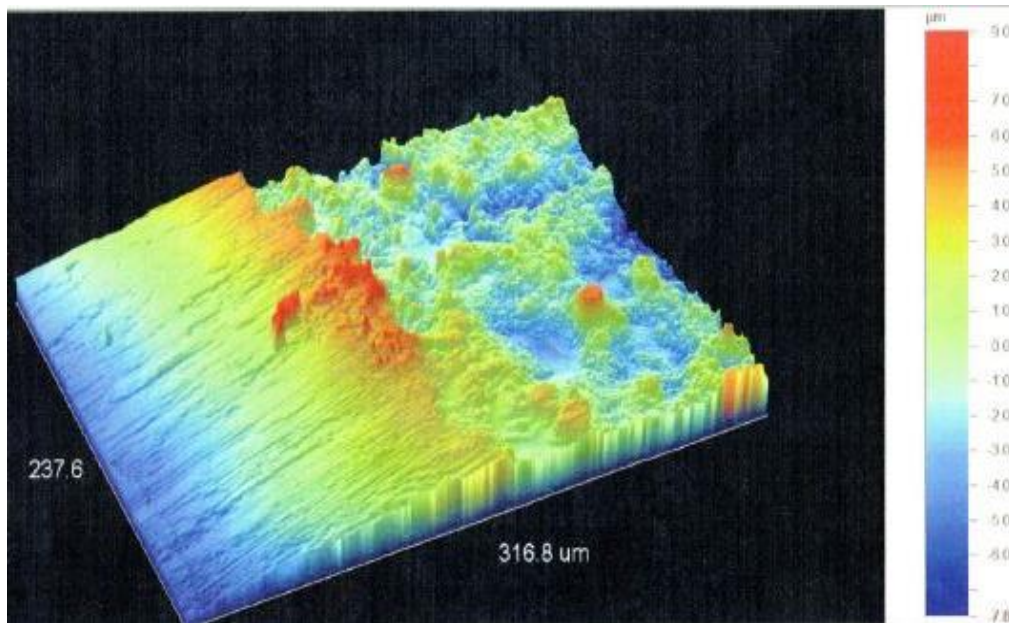


Рис. 3.5 Зносостійкість У8А

Покриття з величиною зносу оцінили по лунці тертя, 4,5 рази за зносостійкість вихідної сталі (рис. 5). Висока зносостійкість зумовлена  $TiC$ ,  $TiN$   $Al_2O_3$ . Розміри лунки моделює процесу тертя. Стан контакту поверхні біля лунки наведено на рис. 6.



а



б

Рис. 3.6 Топографічна фотографія поверхні після тертя У8А з покриттями.

Розшарувань, часток, сітки тріщин в покриттях виявлено не було.

Присутність в основі TiC, TiN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> сприяє збільшенню зносостійкості У8А. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, зовні дифузійної зони зменшує у процесі тертя взаємодію контртіла із сталлю У8А. Спостерігаються лінії мікрорізання вздовж ковзання. Абразивом є тверді частки карбідів, нітридів, оксидів і контр тіла. Процеси пружної, та пластичної деформації з наступним руйнуванням. лунки при терті згладжується.

Зона А – світла із слідами зона різання, є матеріал основи; з включеннями.  
 Зона Б – деформоване і зруйноване покриття.

Вказаний оксид при ХТО, в процесі тертя ковзання досягає значних величин, ділянки в зоні Б відповідають  $TiN$ ,  $TiC$ ,  $Fe(Ti, Al)_4O$ .

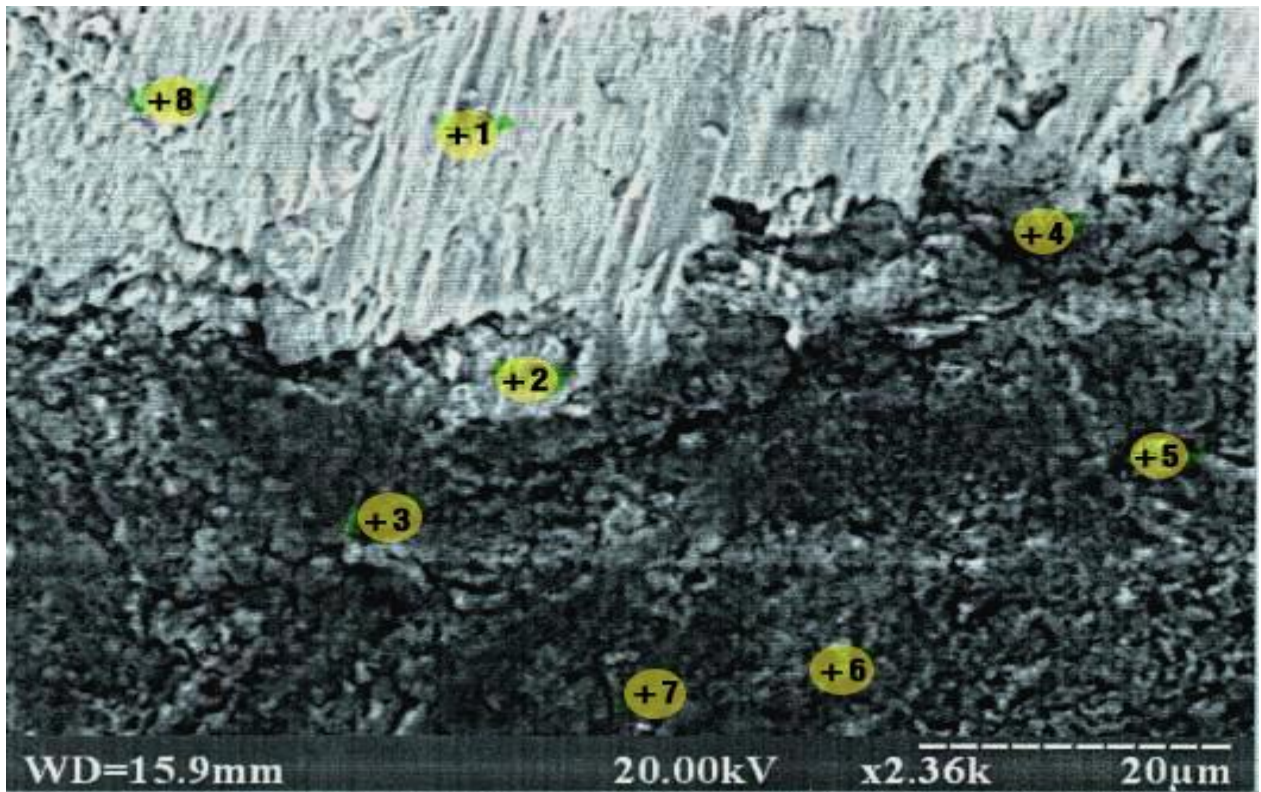


Рис.3.7 Мікроструктура зони тертя У8А з покриттями з  $TiN$

багатошарові покриття з карбідів хрому, карбиду титану, нітриду титану, інтерметалідів отримані азотування, хромування, фізичного осадження з наступною дифузійною металізацією. Мають високу жаростійкість, зносостійкість та перспективні при експлуатації

#### 4 ОРГАНІЗАЦІЙНА- ЕКОНОМІЧНО ЧАСТИНА

#### 4.1 Науково-технічна актуальність НДР

До теперішнього часу використовують різні технології для створення покриттів з метою збільшення експлуатаційних властивостей інструментів із сталей та твердих сплавів. Вибір типу покриття для реального інструменту визначається певними властивостями або комбінацією властивостей окремих шарів в зоні сполук: твердість, коефіцієнт тертя, коефіцієнт термічного розширення, адгезійні властивості тощо.

Досвід експлуатації інструментів останніх років показав необхідність присутності в успішних покриттях шарів наступних сполук : карбиду титану TiC, нітриду титану TiN, оксиду  $Al_2O_3$  [1-4].

Для дослідження було обрано сталь У8А аустенітного класу з помірною міцністю, яка має широке застосування різних галузях для виготовлення різноманітного інструменту.

При підвищенні зносостійкості поверхневих шарів з'являється можливість отримати новий матеріал зі значно вищими характеристиками. Таким чином існує можливість підвищити комплекс властивостей сталі У8А за рахунок формування на її поверхні твердих та зносостійких покриттів.

#### 4.2 Мета і завдання науково-дослідницької роботи

**Мета роботи:** отримання на поверхні сталі У8А багат шарових покриттів за участю титану, алюмінію, хрому. Встановлення впливу бар'єрних шарів на основі нітриду титану TiN, карбідів хрому  $Cr_7C_3$ ,  $Cr_{23}C_6$  на фазовий і хімічний склади, структуру, властивості титаноалітованих та титаноалюмохромованих покриттів на сталі У8А.

**Задачі дослідження** Відповідно до мети в роботі були поставлені наступні задачі:

1 Встановлення впливу бар'єрних шарів на основі нітриду титану, карбідів хрому та фазовий, хімічний склади багатокомпонентних титаноалітованих покриттів на сталі У8А.

2 Вивчення фазового та хімічного складів, мікроструктуру багат шарових покриттів на сталі У8А.

3 Дослідження мікротвердості окремих складових покриттів на сталі У8А.

4 Встановлення жаростійкості сталі У8А з покриттями на основі титану, алюмінію, азоту, хрому.

5 Дослідження зносостійкості сталі У8А з захисними покриттями в умовах тертя ковзання без змащування.

6. Узагальнити отримані результати та сформулювати висновки.

### **4.3 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження**

Розрахунок усіх можливих витрат на НДР, пов'язаних з виконанням даної теми, дасть можливість дізнатися планову вартість дослідження даної теми. Завчасне планування, забезпечує значне зменшення трудових та матеріальних витрат з метою отримання кращих результатів при найменших витратах.

Планова собівартість наукову дослідницької роботи визначається за наступними статтями витрат:

- 1) заробітна плата науково-дослідницького персоналу;
- 2) єдиний соціальний внесок;
- 3) вартість матеріалів, необхідних для проведення НДР
- 4) вартість спеціального обладнання для виконання НДР;
- 5) витрати на службові відрядження;
- 6) інші прямі невраховані витрати по темі;
- 7) накладні витрати.

### 4.3.1 Зарплата виконавців по темі

Витрати за цим пунктом включають заробітну плату працівників всіх категорій, зайнятих при проведенні даної роботи.

Заробітна плата вираховується окремо для кожного робітника, і на основі даних по трудомісткості. Розрахунок проводиться в людино-днях. Перелік робіт та трудомісткість представлена в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахунок трудомісткості проведення дипломної роботи

Етапи НДР	Відповід викон. теми, снс	Інженер-дослідник	Технік
Аналіз фазових публікацій з теми НДР	10	10	---
Підготовка устаткування для проведення експериментів	6	5	14
Виготовлення зразків	---	10	20
Рентгеноструктурний аналіз	---	5	---
Мікрорентгеноспектральний аналіз	---	5	---
Мікроструктурний аналіз	---	5	---
ДюрOMETричний аналіз	---	5	---
продовження таблиці 4.1			
Визначення зносостійкості покриттів	---	10	---

Опрацювання результатів	20	---	25
Оформлення результатів роботи	---	10	6
Разом	36	65	65

Денні зарплати визначаються як відношення місячного окладу до умовного місяця (для НДР з п'ятиденним робочим тижнем складає 21,2 дня).

Перемножуючи середньоденну заробітну плату за кожною категорією виконавців на відповідну планову трудомісткість робіт, розраховується плановий фонд заробітної плати всіх працівників. Результати розрахунку фонду заробітної плати з теми зведено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Розрахунок фонду заробітної плати виконавців теми

Посада	Трудомісткість, людино-днів.	Місячний оклад, грн	Денна заробітна плата, грн	Сумарна заробітна плата, грн
Відповідальний виконавець теми	36	14792	697,73	25118,28
Інженер	65	5206	245,56	15961,4
Лаборант	65	4480	211,32	13735,8
Разом				54815,48

Величина фонду заробітної плати (ФЗ) визначається як добуток трудомісткості та денної заробітної плати виконавців:

$$\Phi 3 = 36 * 697,73 + 75 * 245,56 + 65 * 211,32 = 54815,48 \text{ грн.}$$

#### 4.3.2 Єдиний соціальний внесок

Сума єдиного соціального (Вс) визначаються у відсотках від загального фонду заробітної плати виконавців з теми. Норматив відрахувань необхідно брати в розмірі 22% загального фонду заробітної плати. Таким чином, єдиний соціальний внесок складе:

$$V_c = 54815,48 \cdot 0,22 = 12059,40 \text{ грн}$$

#### 4.3.3 Витрати на матеріали, що використовуються в роботі

Витрати на матеріали, які необхідні для проведення даної НДР, вираховуються з ціни одиниці і загальної кількості використаного матеріалу. Результати розрахунків зведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 –Вартість матеріалів необхідних для виконання НДР

Назва матеріалу	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Сталь У8А	кг	1	40	40
Порошок Ті ПТХ	кг	0,5	750	375
Порошок Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> К60	кг	0,5	100	50
Порошок NH <sub>4</sub> Cl	кг	0,5	10	5
Шліфувальний папір	пачка	4	30	120
Разом				590

Транспортно заготівельні витрати складають 10% від планової вартості використаних матеріалів, тоді загальні витрати складають:

$$V_m = 590 \cdot 1,1 = 649 \text{ грн.}$$

#### 4.3.4 Витрати на додаткове обладнання та прилади

Всі роботи виконуються на наявному обладнанні і витрати на цю статтю не передбачались. Перелік використаного обладнання наведені у табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Перелік наукового устаткування, необхідного для виконання НДР

Найменування устаткування	Модель устаткування
Дифрактометр	ДРОН УМ-1
Скануючий електронний мікроскоп	Jeol JSM-6490LV, CamScan 4D
Мікроскоп	Neophot 21
Мікротвердомір	ПМТ-3
Машина тертя	МТ-68

#### 4.3.5 Витрати на службові відрядження

Згідно плану НДР, службові відрядження не були передбаченні, і тому на них не було додаткових витрат.

#### 4.3.6 Інші прямі невраховані витрати

В цій статті поєднуються всі витрати на проведення НДР, що не увійшли до попередніх статей. При проведенні даної роботи інші прямі витрати складають 10 % від суми врахованих витрати на НДР.

$$I_v = (54815,48 + 12059,40 + 649) \cdot 0,1 = 6752,38 \text{ грн.}$$

#### 4.3.7 Накладні витрати

До накладних витрат ( $N_v$ ) відносять:

1) заробітна плата адміністративна – управлінського, господарського та обслуговуючого персоналу з єдиним соціальним внеском;

2) витрати на придбання експериментального спеціального обладнання та приладів;

3) витрати по охороні праці та на техніку безпеки;

4) утримання виробничих площ, приладів, устаткування та установок;

5) витрати на воєнізовану охорону;

6) інші загальногосподарські та дослідницькі витрати.

За нормативами для НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» величина накладних витрат складає 20% від суми всіх прямих витрат по темі.

$$N_v = (54815,48 + 12059,40 + 649 + 6752,38) \cdot 0,2 = 14855,25 \text{ грн.}$$

#### 4.3.8 Планова кошторисна вартість НДР

Виконані розрахунки дозволяють визначити загальну планову кошторисну вартість НДР. Плановий кошторис витрат по темі досліджень наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Планова кошторисна вартість НДР з теми

Назва статей	Умова призначення	Сума, грн.	Сума, %	Обґрунтування
Заробітна плата	ЗП	54815,48	61,49	За розрахунком
Продовження таблиці				

Єдиний соціальний внесок	Вс	12059,40	13,52	22% від ЗП
Вартість основних матеріалів	Вм	649	0,7	За розрахунком
Вартість спец. обладнання	Воб	-	-	Не планується
Витрати на послуги сторонніх організацій	Всо	-	-	Не планується
Інші прямі витрати	Ів	6752,38	7,57	10 % від суми врахованих витрати
Накладні витрати	Нв	14855,25	16,66	20% від суми всіх прямих витрат
Разом	Вндр	89131,51	100	Сума всіх попередніх

#### 4.4 Економічна ефективність НДР

Розрахунок очікуваного економічного ефекту НДР необхідно для визначення доцільності проведення даної роботи. Проте він може бути розрахований лише по НДР, які безпосередньо спрямовані на створення нових матеріалів, покращення параметрів якості продукції, а також створення нових конструкцій.

Дослідження, що проводились в даній роботі, є складовою частиною комплексної задачі, тому для визначення річного економічного ефекту використовується бальна система оцінки економічної ефективності за наступними показниками:

- важливість розробки ( $K_1$ );
- можливість використання результатів розробки ( $K_2$ );
- теоретичне значення та рівень новизни ( $K_3$ );
- складність дослідження ( $K_4$ ).

Коефіцієнт  $K_1$  може приймати наступні значення:

- а) ініціативна робота, яка не входить до складу комплексної програми та не є завданням директивних органів – 1 бал;
- б) робота виконується за угодою про науково-технічне співробітництво – 2 бали;
- в) робота являє собою частину відомчої програми – 4 балів;
- г) робота являє собою частину комплексної міжвідомчої програми з елементами впровадження результатів – 5 балів;
- д) робота є частиною міжнародної комплексної програми – 5 балів.

Коефіцієнт  $K_2$  може приймати такі значення:

- а) результати розробки можна використати тільки в даному підрозділі – 2 бал;
- б) результати розробки можуть бути використані тільки однією організацією – 3 бали;
- в) результати розробки можуть бути використані багатьма організаціями – 4 балів.

г) результатами розробки можуть користуватися в масштабах однієї галузі – 8 балів;

д) результатами розробки можуть користуватися в різних галузях –7 балів.

Коефіцієнт  $K_3$  може приймати такі значення:

а) робота являє собою аналіз, узагальнення або класифікацію відомої інформації, подібні результати раніше були відомі в досліджуваній галузі – 2 бали;

б) під час виконання роботи отримана нова інформація, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів –4 бали;

в) внаслідок виконання роботи отримана нова інформація, яка частково змінює уявлення про природу досліджуваних процесів – 5 балів;

г) внаслідок виконання НДР створені нові теорії, методики або що-небудь подібне – 6 балів;

д) отримана інформація формує принципово нові уявлення, які не були відомі раніше –7 балів.

Коефіцієнт  $K_4$  може приймати такі значення:

а) роботу виконує один підрозділ, витрати до 10 000 гривень – 1 бал;

б) роботу виконує один підрозділ, витрати від 10 000 до 50 000 гривень – 3 бали;

в) роботу виконує один підрозділ, витрати від 50 000 до 100 000 гривень – 5 балів;

г) робота виконується багатьма підрозділами, витрати від 100 000 до 200 000 гривень – 7 балів;

д) робота виконується багатьма організаціями, витрати більше 200 000 гривень – 9 балів.

Загальна бальна оцінка (Б) вираховується перемноженням коефіцієнтів.

$$Б = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (4.1)$$

В нашому випадку бальна оцінка ефективності згідно табл. 4.5 становить:

$$B = 2 \cdot 8 \cdot 4 \cdot 5 = 320$$

Таблиця 4.5 – Бальна оцінка ефективності НДР

Показник оцінки ефективності НДР	Умовне позначення показника	Характеристики даної роботи	Кількість балів
1.Важливість розробки	$K_1$	Робота виконується за угодою про науково-технічне співробітництво	2
2. Можливість використання результатів розробки	$K_2$	Результатами розробки можуть користуватися в масштабах однієї галузі	8
3.Теоретична значимість та рівень новизни розробки	$K_3$	Під час виконання роботи отримана нова інформація, яка доповнює	4
Продовження таблиці 5.5			
		уявлення про сутність досліджуваних процесів	
4.Складність дослідження	$K_4$	роботу виконує один підрозділ, витрати від 50 000 до 100 000 гривень	5

Умовний ефект НДР:

$$E_{\text{НДР}}^{\text{У}} = 500 \cdot B - E_{\text{к}} \cdot Z_{\text{НДР}} \quad (4.2)$$

де 500 – умовна вартість одного балу;

$E_n$  – нормальний коефіцієнт економічної ефективності;

$Z_{\text{НДР}}$  – сумарні витрати на дослідницьку роботу.

Розрахунок згідно формули 5.2

$$E_{\text{НДР}} = 180000 - 0,25 * 89131,51 = 157717,12 \text{ грн.}$$

Економічна ефективність НДР визначається коефіцієнтом ефективності  $E$  за формулою 5.3. Він характеризує частку загального ефекту від розробки на умовну одиницю витрат і розраховується по формулі:

$$E = \frac{E_{\text{НДР}}}{B_{\text{заг}}} \quad (4.3)$$

$$E = \frac{157717,12}{89131,51} = 1,76$$

#### **4.5 Висновки до розділу**

Коефіцієнт умовної ефективності даної науково-дослідницької роботи дорівнює 1,76 що свідчить про доцільність її виконання.

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Невід'ємною частиною організації праці і виробництва є охорона праці – система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності. Ст. 1 Закону України "Про охорону праці"[40].

Крім того, охорона праці включає організаційні і технічні заходи, спрямовані на усунення причин травматизму і захворювань робітників та службовців на виробництві, створення для них безпечних умов, поступову ліквідацію шуму і вібрацій, запиленості виробничих приміщень, будівництво і реконструкцію санітарно-побутових приміщень, поліпшення забезпечення робітників засобами індивідуального захисту. Усе це в комплексі підвищує продуктивність праці людини і зберігає її здоров'я .

Метою даного розділу є аналіз небезпечних та шкідливих чинників в процесі отримання багат шарового покриття сталі У8А.

### 5.1 Правові та організаційні основи охорони праці.

Основний нормативний документ щодо організації охорони праці в Україні – це Закон України «Про охорону праці».

Відповідно до статті 13 цього закону роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці[39]. З цією

метою роботодавець забезпечує функціонування системи управління охороною праці на підприємстві.

Обов'язки працівника щодо додержання вимог нормативно-правових актів з охорони праці наведені в статті 14 .

Відповідно до ст. 15, на підприємстві з кількістю працюючих 50 і більше осіб роботодавець створює службу охорони праці відповідно до типового положення, що затверджується центральним органом виконавчої влади з питань нагляду за охороною праці .

Відповідальних за охорону праці на факультетах і інститутах призначає роботодавець. Відповідальним за охорону праці на кафедрі металознавства і термічної обробки , а також в лабораторії 305 є Лоскутова Т.В.

## 5.2 Аналіз параметрів приміщення

Дослідження дифузійних багатoshарових покриттів сталі У8А проводилося в 305 лабораторії (9 корпус) Інженерно-фізичного факультету НТУУ “КПІ”. Схематичне зображення лабораторії представлено на рис.5.1

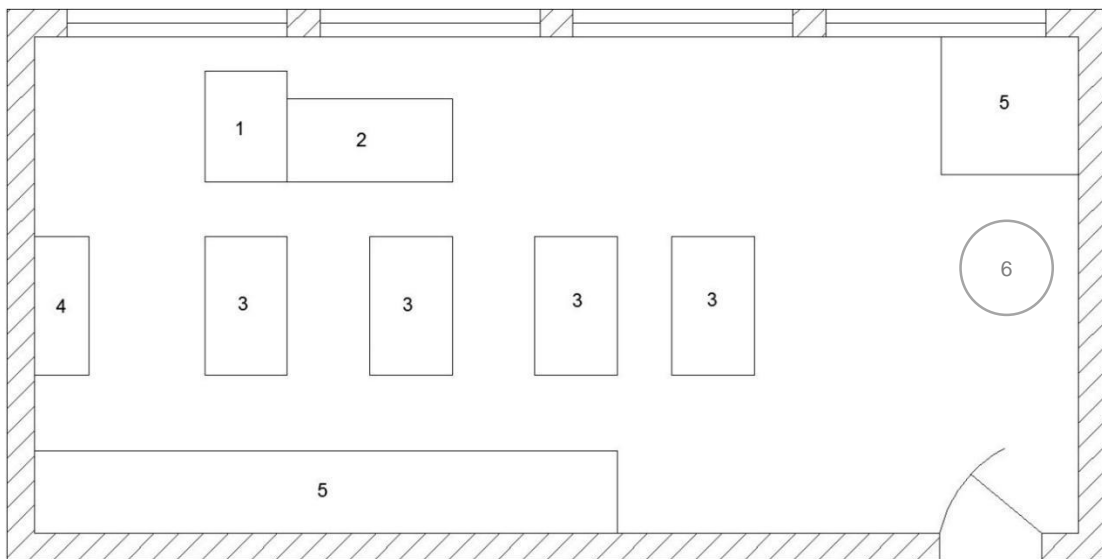


Рисунок 5.1 - Схематичне зображення лабораторії 305 (9 корпус) ІФФ, НТУУ ‘КПІ’

- 1 – робоче місце з ПК; 2 – робоче місце з машиною тертя МТ-68;
- 3 – робочий стіл; 4 – шафа; 5 – термічні установки; 6-вентиляція

В лабораторних умовах дифузійні покриття на сталі У8А отримували дифузійним насиченням.

Зразки, які були отримані обробляли на шліфувальній установці. Мікроструктурні дослідження виконувались на мікроскопі НЕОРНОТ-21 в інтервалі збільшень 50-1000 разів.

Для виявлення мікроструктури застосували реактиви «Марбля» та «царську горілку». Час травлення (3-5) с.

Розміри лабораторії – ширина (6м), довжина (8,3м), висота (3,2м)

Площа лабораторії складає:  $S = a \cdot b = 6 \cdot 8,3 = 49,8 \text{ м}^2$

Об'єм лабораторії складає:  $V = a \cdot b \cdot c = 6 \cdot 8,3 \cdot 3,2 = 159 \text{ м}^3$

Кількість працюючих становить три особи.

Таким чином, на одного працюючого припадає 16,6 м<sup>2</sup> площі і 53 м<sup>3</sup> об'єму, що задовольняє вимогам санітарних норм і правил ДСанПіН 3.3.2.007-98 для приміщень з ПЕОМ норма площі на одну особу становить 6,0 м<sup>2</sup>, а норма об'єму приміщення на одну особу – 20 м<sup>3</sup>) [21].

### 5.3 Аналіз мікроклімату в робочій зоні приміщення

Мікроклімат внутрішнього середовища лабораторії визначається періодом року, поєднанням температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, температури оточуючих людину поверхонь та інтенсивністю теплового (інфрачервоного) опромінення. Роботи за важкістю відносяться до категорії Іб (легкі фізичні роботи, що виконуються сидячи, стоячи або зв'язані з ходьбою і не потребують важких систематичних фізичних навантажень, затрачується 150 Ккал/год. ).

Результати дослідження параметрів мікроклімату в лабораторії 305 наведені в табл.7.3

В приміщенні використовується водяне опалення і природна вентиляція.

Таблиця 5.3 – Величини параметрів мікроклімату в лабораторії 305

Категорія робіт	Параметр мікроклімату	Період року	Нормовані значення		Дані вимірювань	Висновок
			Оптимальне	Допустиме		
Середньої важкості Па	Температура, °С	Теплий	21-23	18-27	22	оптимально
		Холодний	18-20	17-23	19	допустимо
	Відносна вологість повітря, %	Теплий	60-40	65	51	оптимально
		Холодний	60-40	75	47	оптимально
	Швидкість руху повітря, м/с	Теплий	0,2	0,2-0,4	0,16	допустимо
		Холодний	0,2	Не більше 0,3	0,09	допустимо

На основі наведених даних можна зробити висновок, що мікроклімат в лабораторії відповідає вимогам санітарних норм ДСН 3.3.6.042-99.

#### 5.4 Аналіз освітленості приміщення

Освітлення буває трьох видів: природне, штучне і суміщене. Природне у свою чергу поділяється на бічне, верхнє та комбіноване. Штучне – загальне і місцеве. Характеристика зорової роботи поділяється за класами точності :

- 1) найвищої точності, 2) дуже високої, 3) високої, 4) середньої,
- 5) малої, 6) дуже малої точності. Наша робота підходить під клас середньої точності ДБН В.2.5.28-2006.

В лабораторії 305 використовується система сумісного освітлення – освітлення, при якому в світлий час доби використовується природне та штучне освітлення. При цьому, недостатнє, за умовами зорової роботи, природне освітлення доповнюється. Природне освітлення в лабораторії – бокове, тобто здійснюється через бокові світлові прорізи в зовнішніх стінах з західної сторони.

В світлий час доби (вдень) використовується, в основному, природне освітлення. Воно забезпечує добру освітленість та сприятливо впливає на зір, економічне. Природне освітлення повністю задовольняє встановленим нормам, що дозволяє в денний час економити електроенергію. Світильники штучного освітлення розміщені у верхній зоні приміщення рівномірно.

Недостатність і надмірність освітлення призводить до погіршення зору, що потенційно може призвести до професійного захворювання. Довготривале перебування в умовах поганої освітленості викликає близкочорість. Нерівномірність освітлення приводить до частоті преадаптації очей під час роботи і, як наслідок, до швидкого стомлення органів зору.

## **5.5 Аналіз інфрачервоного випромінювання**

При роботі з піччю для нанесення покриттів існує небезпека теплового впливу на організм людини, який викликає інфрачервоне випромінювання. Теплові апарати, які використовуються на підприємствах (в нашому випадку піч для термічної обробки), є джерелами інфрачервоного випромінювання. За фізичною природою інфрачервоне випромінювання являє собою електромагнітні хвилі та потік квантових фотонів. Над печами встановлена витяжна вентиляція марки С 4.70-3.2.

Інфрачервоне випромінювання впливає на функціональний стан людини, його центральну нервову систему, серцево-судинну систему, а також може викликати цілий ряд патологічних змін в стані очей. Допустима густина потоку ІЧВ встановлена з урахуванням області випромінювання. У відповідності з "Санітарними нормами мікроклімату виробничих приміщень" інтенсивність

опромінення ІЧВ від відкритих джерел (нагрітий метал та нагрівачі) не повинна перевищувати  $140 \text{ Вт/м}^2$  при опроміненні не більш ніж 25 % поверхні тіла і обов'язковому застосуванні засобів індивідуального захисту, в тому числі засобів захисту обличчя та очей.

Захист від інфрачервоного випромінювання згідно ДСН 3.3.6.042-99 здійснюється екрануванням джерел випромінювання за допомогою теплоізолюючих матеріалів. Ззовні піч має металевий кожух. В якості засобів індивідуального захисту застосовуються рукавиці суконні, для захисту очей від впливу ІЧВ – окуляри зі спеціального жовто-зеленого скла.

## **5.6 Аналіз впливу шуму та вібрації**

Головним шумовим агрегатом є робота витяжної вентиляції марки С4.70-3.2., яка знаходиться над печами та шліфувальної установки.

Характер шуму тональний. Тривалість роботи вентиляції залежить від тривалості роботи печі (2 години на зміну).

Тривалість роботи шліфувальної установки 2/1 НОМ становить 30 хв.

Фактичний шум складає 65 дБА. Нормування виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99. [19]. Нормування виробничої загальної та локальної вібрації здійснюється відповідно з ДСН 3.3.6.039-99. [1919]. Згідно цих норм загальний рівень шуму в приміщенні лабораторії не повинен перевищувати 75 дБА. Оскільки шум в лабораторії не перевищує встановлені норми, то шкідливого впливу на людину не відбувається.

При роботі на шліфувальних та полірувальних кругах утворюється шум, який сприяє швидкій втомі робітника, і, як внаслідок, зниженню продуктивності праці, розладу нервової системи. Для запобігання шкідливого впливу шуму на людину шліфувальні та полірувальні круги встановлені в окремому приміщенні та ізольовані спеціальними звукопоглинальними матеріалами.

Джерелом вібрації є витяжна вентиляція та шліфувальна установка.

Фактичний рівень вібрації становить по віброприскоренню 25 дБА та віброшвидкості 54 дБА.

### **5.7 Аналіз забрудненості повітря**

Вплив пилу на організм людини залежить від складу пилу та його походження. Нетоксичний пил може викликати подразнення шкіри, при цьому може виникнути захворювання шкіри – дерматит. Якщо пил проникає в легені, то він може викликати таке професійне захворювання, як пневмоконіоз.

Титан та алюміній, які використовуються в вигляді порошку при змішуванні, при дозуванні можливе утворення дрібнодисперсного пилу. Пил впливає на організм людини переважно як фіброгенний фактор, що викликає подразнення слизових оболонок дихальних шляхів та осідаючи в легенях практично не потрапляє до кровообігу внаслідок поганої розчинності в біологічних середовищах (кров, лімфа). Найбільшу небезпеку чинить дрібнодисперсний пил. Такий пил, на відміну від крупнодисперсного, практично не осідає в повітрі приміщення, а знаходиться у підвішеному стані і легко потрапляє до легень.

Чистота повітря в лабораторії визначається вмістом пилу і шкідливих речовин. За ГОСТ 12.1.005-88 встановлені гранично допустимі концентрації шкідливих речовин ГДК (мг/м<sup>3</sup>) в повітрі робочої зони виробничих приміщень.

Для захисту органів дихання від попадання в них пилу в даній роботі слід використовувати протипилові респіратори[22]. Для локалізації шкідливих речовин також встановлена механічна витяжна вентиляція марки С4.70-3.2.

### **5.8 Електробезпека**

Живлення всього обладнання в лабораторії здійснюється від мережі з напругою 220В. Мікроскоп має підсилену ізоляцію, піч для нанесення

покриттів має робочу ізоляцію і елемент для заземлення. Аудиторія 305 відноситься до категорії приміщень без підвищеної небезпеки.

Електробезпека людей значною мірою залежить від вологості і температури повітря у приміщенні, ступеня електропровідності підлоги і стін, наявності в повітрі хімічних речовин й електропровідного пилу тощо.

Безпека експлуатації роботи електроустаткування забезпечується наступними захисними заходами: періодичною перевіркою стану ізоляції та недоступністю струмоведучих частин[37]. На дію електричного ураження впливає ряд факторів: величина струму (1 мА), рід струму (струм перемінний), частота струму ( 50 Гц), шлях струму в організмі, тривалість дії струму, стан організму, виробниче середовище.

Величина струму, що протікає через будь-яку ділянку тіла. При розробці захисних заходів, вважають небезпечним струм у 25мА, при якому важко самостійно відірватись від провідника, а струм величиною 100мА може призвести до смертельного наслідку. Правила улаштування електроустановок ПУЕ-2017.

У лабораторії, де проводилися дослідження, правильно виконане захисне заземлення корпусів, електроустаткування і приладів. Розташування робочих місць таке, що виключається можливість одночасного доторкання до корпусів, електроустаткування і приладів .

Можливими випадками ураження електричним струмом у даній лабораторії є ураження при пошкодженні ізоляції і заземлення печей та електричного обладнання або при пошкодженні розетки.

## **7.9 Пожежна безпека**

Лабораторія знаходиться в будівлі, що відноситься до першого ступеня пожежної безпеки. Згідно з НАПБ Б.03.002-2007[43] за вибухопожежною та пожежною небезпекою лабораторії відноситься до категорії Г, так як в роботі використовуються негорючі речовини та матеріали в гарячому, розжареному або

розплавленому стані, процес обробки супроводжується виділенням тепла. Інша частина приміщення відноситься до категорії В, тому що в лабораторії знаходяться і використовуються горючі та важкогорючі рідини, тверді горючі та важкогорючі речовини і матеріали, але при цьому приміщення не належить до категорій А і Б. Таким чином, загальною приймаємо категорію В. Клас зони за вибухонебезпекою відсутній. Клас зони за пожежною безпекою згідно ДНАОП 0.00-1.32-01 встановлено П-Па, тому що електроустаткування розміщено і використовується у просторі приміщення, у якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали.

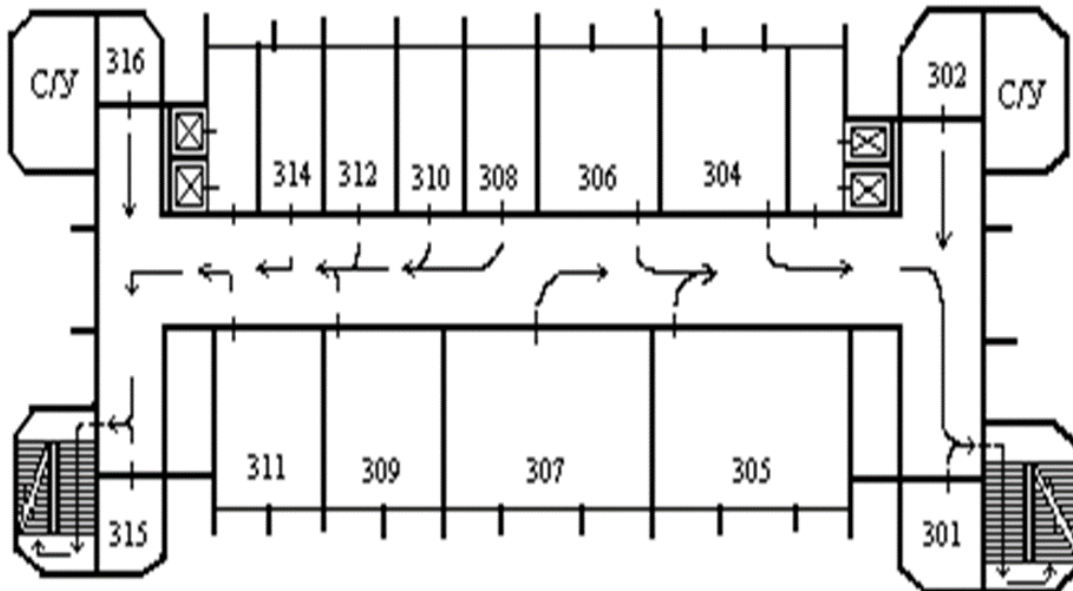


Рисунок 5.9 – План евакуації з приміщення лабораторії

На випадок пожежі в лабораторії є один вогнегасник ОУ-2. Такий вогнегасник забезпечує пожежогасіння у випадку короткого замикання електропроводки без її попереднього відключення. Також розроблений план евакуації. Приміщення обладнане пожежною сигналізацією автоматичної дії комбінованого типу (теплові або димові повідомлювачі).

Заходи щодо пожежної безпеки передбачають правильну експлуатацію обладнання, протипожежний інструктаж робітників, заборону куріння в

недозволені для цього місця, наявність засобів гасіння і попередження пожежі (пожежна сигналізація).

### **5.10 Висновок**

В даному розділі проаналізували умови праці в лабораторії №305 9 корпусу. Виходячи з отриманих даних, були запропоновані заходи, направлені на створення безпечних умов праці, безпечну експлуатацію обладнання та нейтралізацію дії шкідливих речовин. Дана лабораторія забезпечена всіма необхідними матеріалами та інструментами, які можуть допомогти усунути небезпечні фактори в разі їх виникнення

## 6. ВИСНОВКИ:

1. Титаноалітування У8А з азотування, TiN, карбідів хрому; титаноалюмохромуванні з TiN: TiC, TiN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, інтерметаліди Ti, Al, Cr, Fe.
2. Мікротвердість шару TiC – 30,0 – TiN – 20,0; інтерметалідів – 5,8 – ГПа.
3. висока жаростійкість У8А з TiN+титаноалюмохромування.
4. Зносостійкість У8А зростає в 1,8 – 4,5 рази порівняно з вихідної сталі.
5. шари карбідів хрому TiN є барерами для алюмінію в основу і запобігають утворення шару Fe $\alpha$ (Al).

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. M. Hsu and PA Molian. *Wear*. Vol 127. 1988. P253
2. O.M. Barabash, Yu.V. Milman, D.V. Miracle, M.B. Kaprets, N.P. Korzhova, T.N. Legkaya, N.M. Mordovets, Yu. N. Podresov, I.V. Voskoboinik. Formation of periodic microstructures involving the L12 phase in eutectic Al – Ti – Cr alloys. *Intermetallics* 11(2003). p. – 953 – 962.
3. P. A. DeamJey and T. Bell. *Engineering the Surface with Boron Based Materials*. Surf.. Vol 1. 1985. P 203-217
4. P. A. DeamsJey and T. Bell. *Engineering the Surface with Boron Based Materials*. Surf. End.. Vol 1. 1985. P203-2017
5. R. F Hoshman. Ed, *Ion Plating and implanttation*. American Society for Materials. 1986
6. S. Sen, *Wear properties of niobium carbide coatings performed by pack method on AISI steel*, *Thin solid films*. 483 (2015). – p. 152-157.
7. T. Arai. H. Fujita, Y. Suimoto, and Y. Ohta. *Vanadium Carbonitride Coating by Immersing into Low Tempera Salt Bath*, *Heat Treatment and Surface Engineering*, G. Krauss, Ed., ASM International 1988, p 49-53
8. T.SpaJvins, En. *Ion Nitriding*. ASM International. 1987
9. X.J. Lu, Z.D. Xiang, *Formation of chromium nitride on carbon steels by pack cementation process*. *Surf. Coat. Technol.* 300 (2016). – p. 7 – 13.
10. Y. Arata, *Plazma, Electron and Laser Beam Technology*. American Society fix Metals. 1986
11. Zhuang W., Shen I., Liu Shang L., Du Y., Schuster I.C., *Thermodynamic optimization of the Cr – Ti system*, *Z. Metallkd.*, 91, 121 – 127 (2000) (Thermodin., Calculation, 53).

12. ДБН В.2.2-28:2010. Будинки адміністративного та побутового призначення.
13. ДБН В.2.5.28-2006. Природне та штучне освітлення.
14. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування.
15. ДБН В.2.5-13-98. Інженерне обладнання будинків і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд.
16. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації.
17. ДСН 3.3.6.096-2002. Державні санітарні норми та правила при роботі з джерелами електромагнітних полів.
18. ДСН 3.3.6-042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
19. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
20. ДСТУ 7234:2011. Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки.
21. ДСТУ 7239:2011. Національний стандарт України. Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.
22. ДСТУ EN 133:2005. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Класифікація.
23. ДСТУ EN 169-2001. Засоби індивідуального захисту очей. Фільтри під час виконання зварювання та споріднених процесів. Вимоги до пропускання та рекомендації щодо використання.
24. ДСТУ EN 420-2017. Загальні вимоги до рукавиць.
25. ДСТУ EN 954-1:2003. Безпечність машин. Елементи безпечності систем керування. Частина 1. Загальні принципи проектування.

26. ДСТУ EN ISO 13849-1:2016. Безпечність машин. Деталі систем управління, пов'язані з забезпеченням безпеки. Частина 1. Загальні принципи проектування.
27. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
28. ДСТУ ГОСТ 12.2.061:2009. ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам.
29. Злобинский Б. М. Охрана труда в металлургии: учебник для студентов металлургических вузов и специальностей. □ М.: Металлургия, 1975. □ 536 с.
30. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві: Навчальний посібник. □ К.: Основа, 2010. □ 240 с.
31. Лоскутова В.Ф., Хижняк В.Г., Погребова І.С., Горбатюк Р.М., Бочар І.Й. Карбідні покриття на сталях і твердих сплавах. Тернопіль : Лілея, 1998. 144с.
32. НАПБ Б.01.008-2018. Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників.
33. НПАОП 0.00-6.18-04. Порядок проведення огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки.
34. НПАОП 27.0-1.01-08. Правила охорони праці в металургійній промисловості.
35. НПАОП 28.0-1.37-14. Правила охорони праці при нанесенні металопокриттів.
36. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

37. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.
38. НПАОПО.00-1.07-94. Правила будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском.
39. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний та ін. – К.: Основа, 2006. – 448 с.
40. Охорона праці та цивільний захист / О.Г. Левченко, О.І. Полукаров, В.В. Зацарний та ін. // За ред. О.Г. Левченка. □ К.: Основа, 2019. – 472 с.
41. Охрана труда в машиностроении. Под. ред. Е.Я. Юдина, С.В. Белова. – М.: Машиностроение, 1983.
42. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. – К.: Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.
43. Сорокин Стали и сплавы. Марочник 2001
44. Сорокин Стали и сплавы. Марочник 2001р
45. Хижняк В.Г., Курило Н.А. Будова та механічні властивості карбідних та нітридних покриттів титану, ванадію та хрому на сталі У8А. Металознавство та обробка металів. – 2007, - №3 – с. 17 – 21.
46. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник. Борисенок Г.В., Васильев Л.А., Воршинин Л.Г., и др. М. : Металлургия, 1981 – 424 с.
47. Электробезопасность на промышленных предприятиях: Справочник / Р.В. Сабарно, А.Г. Степанов и др. – К.: Техника. 1985. – 288 с.
48. Электроискровое легирование и последующая обработка инструмента из быстрорежущих сталей / М.С. Ковальченко, А.В. Паустовский, В.П. Ботвинко, Тамаров А.П. // Порошковая металлургия. – 1996. – № 5/6. – С. 11–15