

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ТА
ЗВАРЮВАННЯ імені Є.О. ПАТОНА
КАФЕДРА ФІЗИЧНОГО МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ТА ТЕРМІЧНОЇ
ОБРОБКИ

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Мирослав КАРПЕЦЬ
«___» _____ 2023 р.

Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Металознавство та комп'ютерне
моделювання процесів термічної обробки»
зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»
на тему: «Титаноалітування високотносостійкої сталі ШХ15»

Виконала:

студентка ІV курсу, групи ФТ-91

Дудка Вікторія Олександрівна _____

Керівник:

проф., д.т.н., доцент

Лоскутова Тетяна Володимирівна _____

Консультант з розділу охорони праці:

зав. каф., д.т.н., професор, Левченко Олег Григорович _____

Консультант з економічно-організаційного розділу

доцент, к.е.н., доцент, Нараєвський Ссергій Вікторович _____

Консультант з нормоконтролю:

к.т.н., доцент, Христенко Вадим Володимирович _____

Рецензент:

проф., д.т.н.,

Ямшинський Михайло Михайлович _____

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2023 р.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона
Кафедра фізичного матеріалознавства та термічної обробки

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма «Металознавство та комп'ютерне моделювання процесів термічної обробки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Мирослав КАРПЕЦЬ

« ___ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студентці

Дудки Вікторії Олександрівни

1. Тема роботи «Титаноалітування високотносистої сталі ШХ15», керівник роботи Лоскутова Тетяна Володимирівна, проф., д.т.н., затверджені наказом по університету від «01» червня 2023р. №2122-с
2. Термін подання студентом роботи «16» червня 2023 р.
3. Вихідні дані до роботи: літературні данні
4. Зміст роботи: літературний огляд, методика досліджень, мікроструктура, фазовий, хімічний склад покриттів отриманих титаноалітуванням та азототитаноалітуванням високотносистої сталі ШХ15. Дослідження мікротвердості отриманих покриттів.
5. Перелік ілюстративного матеріалу: Мікроструктури, хімічний склад сталі ШХ15, хімічний та фазовий склад титаноалітованого та азототитаноалітованого покриттів на сталі ШХ15, зміна мікротвердості та розподілу елементів у покриттях.

Мета, предмет та об'єкт досліджень, мікроструктура, фазовий, хімічний склад покриттів отриманих титаноалітуванням та азототитаноалітуванням

високозносостійкої сталі ШХ15. Дослідження мікротвердості отриманих покриттів

6. Консультанти розділів роботи*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорони праці	Левченко О.Г., зав. каф., професор		
Організаційно – економічний розділ	Нараєвський С.В., доцент		
Нормоконтроль	Христенко В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Написання літературного огляду	17-30.04.2023	
2.	Ознайомлення з методикою досліджень	25-30.04.2023	
3	Нанесення покриттів	01.05-14.05.2023	
4	Мікроструктурний аналіз покриттів	15-28.05.2023	
5	Визначення фазового складу покриттів	29-04.06.2023	
6	Визначення хімічного складу покриттів	05-11.06.2023	
7	Дюрометричний аналіз покриттів	12-13.06.2023	
8	Розрахунок питань охорони праці та економіки	14-16.06.2023	
9	Оформлення бакалаврської роботи	17-21.06.2023	

Студент

Вікторія ДУДКА

Керівник

Тетяна ЛОСКУТОВА

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи: 92 с., 13 табл., 13 рис., 3 дод., 36 джерел.

СТАЛЬ, ПОВЕРХНЕВИЙ ШАР, ТИТАНОАЛІТУВАННЯ,
АЗОТОТИТАНОАЛІТУВАННЯ, ПОКРИТТЯ, МІКРОСТРУКТУРА,
ІНТЕРМЕТАЛІД, МІКРОТВЕРДІСТЬ, ВЛАСТИВОСТІ

Об'єкт дослідження – процес підвищення експлуатаційних характеристик сталевих виробів, виготовлених зі сталі ШХ15 шляхом хіміко-термічної обробки, а саме дифузійними покриттями на основі азоту, титану та алюмінію.

Предмет дослідження – визначення методик впливу на фазовий, хімічний склади, структуру та властивості легованих сталей.

Мета роботи – отримання покриттів, які поєднують зносостійкість карбонітридних покриттів із жаростійкістю алітованих.

Методи дослідження – рентгеноструктурний, мікрорентгеноструктурний, металографічний, дюрOMETRІчний аналізи.

В ході виконання дипломної роботи були освоєні основні методи хіміко-термічної обробки: азотування, карбонітрація, дифузійна металізація. Розглянуті основні умови отримання покриттів на основі карбідів та нітридів титану за участю алюмінію, особливості формування структур.

ABSTRAKT

Erläuterung zur Dissertation: 92 S., 13 Abb., 13 Tab., 3 Beilage, 36 Quellen.

STAHL, TITANOALITUVANNYA, AZOTOTITANOALITUVANNYA, LEGIERUNG, MICROSTRUCTURE, INTERMETALID, MIKROHÄRTE, OBERFLÄCHENSCHICHT, EIGENSCHAFTEN.

Gegenstand der Studie: der Prozess der Verbesserung der Betriebseigenschaften von Stahlprodukten aus IIX15 durch chemische und thermische Behandlung, nämlich Diffusionsbeschichtungen auf der Basis von Stickstoff, Titan und Aluminium.

Forschungsgegenstand – Bestimmung von Methoden zur Einflussnahme auf Phase, chemische Zusammensetzung, Struktur und Eigenschaften legierter Stähle Der Zweck der Arbeit: Beschichtungen zu erhalten, die die Verschleißfestigkeit von Carbonitrid-Beschichtungen mit der Hitzebeständigkeit von alithisierten Beschichtungen kombinieren.

Forschungsmethoden – Röntgenstrukturanalyse, Mikroröntgenstrukturanalyse, metallografische, durometrische Analyse. Während des Vordiplompraktikums wurden die wichtigsten Methoden der chemisch-thermischen Bearbeitung beherrscht: Nitrieren, Karbonitrieren, Diffusionsmetallisierung. Als Hauptbedingungen für die Erzielung von Beschichtungen auf Basis von Titancarbiden und -nitriden unter Beteiligung von Aluminium werden Merkmale der Strukturbildung berücksichtigt.

ЗМІСТ

Вступ	9
1 Літературний огляд	10
1.1 Загальна характеристика хіміко-термічної обробки	10
1.2 Адсорбція на поверхні металу, що насичується	14
1.3 Дифузія в металах	17
1.4 Механізм утворення дифузійних шарів	18
1.5 Хіміко-термічна обробка металів та сплавів	20
1.5.1 Азотування металів та сплавів	20
1.5.2 Титаноалітування металів та сплавів	32
2 Матеріали і методика досліджень	35
2.1. Матеріали дослідження	35
2.2 Методика нанесення покриттів	35
2.3 Рентгеноструктурний аналіз покриттів	36
2.4 Мікрорентгеноспектральний аналіз покриттів	37
2.5 Мікроструктурний аналіз покриттів	38
3 Експериментальна частина	39
4. Організаційно-економічна частина	48
4.1 Техніко-економічне обґрунтування науково дослідницької роботи	48
4.1.1 Актуальність теми дослідження	48
4.1.2 Розрахунок собівартості проведення дослідження	49
4.1.2.1 Витрати на основні матеріали, необхідні для проведення науково- дослідницької роботи	50
4.1.2.2 Витрати на спеціальне обладнання та прилади	51
4.1.2.3 Зарплата виконавців по темі, основна та додаткова	51
4.1.2.4 Відрахування на соціальні заходи	53
4.1.2.5 Витрати на послуги сторонніх організацій	53
4.1.2.6 Накладні витрати	53
4.1.2.7 Планова кошторисна вартість науково дослідницької роботи	54

	7
4.1.3 Економічна ефективність науково дослідницької роботи	55
5 Охорона праці	57
5.1 Аналіз параметрів приміщення та мікроклімату в приміщенні	57
5.2 Аналіз повітря	60
5.3 Аналіз шуму, вібрації, інфра- та ультразвуку	62
5.4 Аналіз освітлення	63
5.5 Електробезпека	64
5.6 Пожежна безпека	68
5.7 Алгоритм дій у випадку "Повітряної тривоги" за сигналом цивільного захисту	69
Висновки	72
Перелік джерел посилання	73
Додаток А Диплом за 1 місце I етапу Всеукраїнської студентської олімпіади з «Прикладного матеріалознавства» спеціальності 132 «Матеріалознавство», лютий 2022 року	78
Додаток Б Тези доповідей «Дифузійне титаноалітування хромованої сталі У8А»	79
Додаток В Тези доповідей «3D-моделювання ювелірних виробів»	84

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ХТО – хіміко-термічна обробка

НДР – науково-дослідна робота

ЛЕ – легуючі елементи

ВСТУП

Для вирішення проблеми підвищення надійності та довговічності виробів, деталей машин, штампів, технологічного оснащення та інструменту, велике значення мають розробка, пошук захисних твердих та зносостійких покриттів, які дозволяють збільшити термін експлуатації виробів, зменшити витрати металу на виготовлення запасних частин, зменшити простоювання обладнання, яке пов'язане із ремонтом; підвищити економію матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів.

У нашій країні та за кордоном ведуться інтенсивні пошуки нових видів зносостійких, корозійностійких, жароміцних захисних покриттів, які мають комплекс особливих фізико-механічних властивостей. У даний час існує велика кількість методів і способів нанесення на поверхню сталей і сплавів карбідних покриттів. Кожен із них, володіючи характерними особливостями, забезпечує одержання на поверхні сталей і їх сплавів карбідних покриттів, які відрізняються за складом, структурою, густиною, міцністю, зчепленням з основою та великим спектром фізичних властивостей. Якісні карбідні покриття із унікальним комплексом фізико-хімічних і механічних властивостей утворюється на поверхні металів і сплавів у процесі дифузійного насичення в ізотермічних умовах із використанням штучно створених активізованих середовищ. Дифузійна металізація може проводитися у твердих, рідких та газових середовищах.

Дана робота була присвячена розробці методики комплексного нанесення дифузійних покриттів на основі титану та алюмінію на поверхню зносостійкої сталі ШХ15, а також узагальненню і експериментальному вивченню закономірностей структуроутворення при формуванні дифузійних шарів.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Загальна характеристика хіміко-термічної обробки

Хіміко-термічна обробка (ХТО) поєднує термічну і хімічну дії з метою зміни хімічного складу, структури і властивостей поверхневого шару металу або сплаву. Хіміко-термічна обробка здійснюється в результаті дифузійного насичення металу або сплаву неметалами (С, N, В тощо) або металами (Al, Cr, Zn тощо) при певній температурі в активному насичуючому середовищі [1]-[12].

Для підвищення довговічності найвідповідальніших деталей машин широко використовуються процеси цементації (науглецьовування), нітроцементації і азотування. Декілька у меншій мірі застосовується поверхневе насичення бором, кремнієм і металами. Прикладом можуть служити деталі автомобілів, тракторів, верстатів, сільськогосподарських, текстильних і інших машин, що піддаються цементації, нітроцементації і азотування. Більшість деталей машин працює в умовах зносу, кавітації, циклічних навантажень, корозії при криогенних і високих температурах, при яких максимальні напруження виникають в поверхневих шарах металу, де зосереджені основні концентратори напружень. Хіміко-термічна обробка, підвищуючи твердість, зносостійкість, задиростійкість, кавітаційну і корозійну стійкість і створюючи на поверхні сприятливі залишкові напруги стиснення, збільшує надійність і довговічність машин.

Основні методи насичення, застосовані при ХТО, приведені нижче [1]-[2], [4]- [7]:

- Насичення з порошкових сумішей (порошковий метод). Цей метод завдяки простоті технологічного процесу знайшов застосування у дрібносерійному і серійному виробництві для цементації, алітування (алюмінівання), хромування тощо.

- Прямоточний і циркуляційний методи дифузійного насичення з газових середовищ. Прямоточний газовий метод дозволяє регулювати активність насичуючої атмосфери (потенціал атмосфери), широко застосовується у великосерійному і серійному виробництві для цементації, нітроцементациї і азотування. Газовий метод забезпечує високу якість дифузійного шару і поверхні оброблюваного виробу. Циркуляційний метод знаходить все більш широке застосування при насиченні металами і кремнієм.

- Дифузійне насичення з розплавів металів або солей, що містять дифундуєчий елемент (з електролізом і без застосування електролізу). Рідкий метод дозволяє скоротити тривалість технологічного процесу, проте не завжди забезпечує високу якість поверхні і стабільність товщини дифузійного шару. Застосовується у серійному виробництві.

- Насичення із паст та суспензій (шлікерний спосіб). Ці методи не знайшли широкого розповсюдження, оскільки не завжди забезпечують отримання рівномірної товщини покриття і високої якості дифузійного шару. Проте насичення із паст може бути рекомендоване для місцевого зміцнення поверхні і при обробці великогабаритних деталей.

- Дифузійне насичення з використанням вакууму. Насичення здійснюється із сублімованої фази випаровуванням дифундуєчого елементу при високих температурах у вакуумі. Оброблювані вироби можуть знаходитися у контакті з порошковою сумішшю, що містить дифундуєчий елемент або розташовуватися на відстані від неї. Насичення у вакуумі – перспективний метод ХТО.

Вибір того або іншого способу насичення здійснюється відповідно до виду виробництва, габаритів оброблюваного виробу, необхідною товщиною шару тощо. Процес ХТО є гетерогенним, тобто таким, що відбувається у різних дотичних фазах, відокремлених одна від одної поверхнею розділу. Гетерогенні процеси протікають багатостадійно. ХТО включає три основні взаємозв'язані стадії:

- Реакції у насичуючому середовищі – на цій стадії масопереносу слід розрізняти два процеси: утворення активних атомів у насичуючому середовищі і дифузію їх до поверхні оброблюваного металу.

- Реакції на межі фаз – адсорбція (хемосорбція) активних атомів, що утворилися, поверхнею насичення. При хемосорбції відбувається взаємодія між атомами насичуючого елементу і оброблюваною поверхнею, яке по своєму характеру і силі близьке до хімічного.

- Дифузія – переміщення адсорбованих атомів усередині металу; по мірі накопичення атомів дифундуючого елементу на поверхні насичення виникає дифузійний потік від поверхні углиб оброблюваного металу (сплаву). Процес можливий тільки за умов розчинності дифундуючого елементу в оброблюваному металі і достатньо високій температурі, що забезпечує необхідну енергію атомам.

Приплив активних атомів до поверхні насичення повинен перевищувати число атомів, що відводяться від поверхні вглиб у результаті дифузії. У тих випадках, коли процес протікає багатостадійно, його сумарна швидкість визначається швидкістю найповільнішої стадії, яка є контролюючою. При протіканні процесів ХТО у більшості випадків швидкість процесу контролюється дифузією. Всі чинники, які прискорюють процес дифузії (підвищення температури і градієнта концентрації, структурні дефекти тощо), скорочують тривалість технологічного процесу ХТО.

Відомі і способи інтенсифікації процесів ХТО за рахунок прискорення процесів, що протікають у насичуючому середовищі та адсорбції дифундуючого елементу. Проте у цьому випадку ефект прискорення хіміко-термічної обробки не є великий (Запропонована велика кількість способів прискорення хіміко-термічної обробки за рахунок вибору оптимальних насичуючих середовищ, насичення у плазмі тліючого розряду, при електронагріві, при дії ультразвуку тощо. Деякі з цих способів, що отримали промислове застосування, описані нижче).

Концентрація дифундуючого елементу на поверхні залежить від співвідношення швидкостей подачі дифундуючого елементу до поверхні і відведення його углиб. Концентрація елементу на поверхні, отже, залежить від активності насичуючого середовища (потенціалу атмосфери) і швидкості дифузії атомів з поверхні углиб металу: чим більше активність насичуючої атмосфери (подача активних атомів) і нижча швидкість дифузії, тим вище СО. Проте при надмірно високій швидкості подачі атомів з насичуючої атмосфери можливе виділення на оброблюваній поверхні дифундуючого елементу (наприклад, сажі при цементації, хрому при хромуванні), що перешкоджає подальшому насиченню і знижує швидкість ХТО.

Розподіл концентрації по товщині дифузійного шару визначають методами пошарового хімічного, спектрального, рентгеноспектрального аналізу або вимірюванням характеристик, залежних від концентрації (мікротвердості, внутрішнього тертя тощо).

Матеріал деталі під дифузійним шаром, не зачеплений дією насичуючого активного середовища, називають серцевиною. Найкоротша відстань від поверхні насичення до серцевини складає загальну товщину дифузійного шару. При контролі хіміко-термічної обробки частіше користуються ефективною товщиною дифузійного шару, під якою розуміють найкоротшу відстань від поверхні насичення до мірної ділянки, що характеризується встановленим граничним номінальним значенням базового параметра.

Під базовим параметром дифузійного шару розуміють параметр матеріалу, який є у даному випробуванні критерієм зміни якості залежно від відстані від поверхні насичення. У якості базового параметра приймають або концентрацію дифундуючого елементу, або властивості (твердість тощо), або структурну ознаку. Прилеглу до серцевини внутрішню частину дифузійного шару, протяжність якої визначається різницею загальної і ефективної товщини, називають перехідною зоною дифузійного шару. Під зоною дифузійного шару розуміють частину дифузійного шару, який має ряд ознак, що є відмінними від ознак суміжних частин, наприклад однакова структура (структурна зона

дифузійного шару). Зону дифузійного шару, розташовану безпосередньо під поверхнею насичення, називають зовнішньою зоною дифузійного шару.

Дифузійний шар і його якість характеризують наступні параметри: фазовий склад і структура, товщина загальна або ефективна; розподіл по товщині шару концентрації дифундуючого елементу, поверхнева твердість і розподіл її по товщині шару; поверхнева крихкість (здатність до крихкого руйнування під дією локального навантаження), однорідність, суцільність і рівномірність розподілу по конфігурації виробу (конфігураційний ефект) дифузійного шару, прогартованість і загартованість шару (у разі цементації).

1.2 Адсорбція на поверхні металу, що насичується

При взаємодії середовища насичення з оброблюваною поверхнею виникає накопичення (підвищення концентрації) дифундуючого елементу (адсорбата) на металевій поверхні (адсорбенті). Залежно від характеру взаємодії адсорбата з адсорбентом розрізняють фізичну адсорбцію і хемосорбцію. Адсорбція виникає за рахунок вільної енергії неврівноваженого поверхневого шару. При фізичній адсорбції молекули або атоми утримуються на поверхні ван-дер-ваальсовими силами, при хемосорбції адсорбат вступає у хімічний зв'язок, тобто здійснюється перенесення електронів. Іноді хемосорбцію розглядають як адсорбцію частинок переважно у вигляді іонів (іонсорбцію). Теплота хемосорбції близька до теплоти хімічної реакції, а фізичної адсорбції – до теплоти конденсації. На відміну від хемосорбції фізична адсорбція не вимагає енергії активації. Фізична адсорбція найчастіше спостерігається при температурах нижче за точку кипіння адсорбата, тоді як хемосорбція можлива при вищих температурах. При хемосорбції утворюється якнайтонший (мономолекулярний) у порівнянні з фізичною адсорбцією шар адсорбата. Іноді адсорбент є каталізатором, тоді знижується енергія активації і зростає швидкість хімічної реакції. Так, наприклад, енергія активації реакції $\text{NH}_3 \rightarrow 1/2\text{N}_2 + 3/2\text{H}_2$ без каталізатора складає 296 кДж/моль, а на поверхні

катализаторів (Mo, W) вона зменшується до 163 кДж/моль за інших рівних умов [1].

Розглянемо адсорбційну стадію процесу ХТО на прикладі азотування перехідних металів. Більшість дослідників [1] – [14] сходиться на тій думці, що першоджерелом всіх процесів азотування є молекулярний азот. Домішки і добавки інших елементів в газовому середовищі можуть або сприяти, або перешкоджати адсорбції азоту поверхнею, що насичується. Так, наприклад, кисень, володіючи найбільшою спорідненістю до електрона, адсорбується на поверхні металів міцніше, ніж азот, і перешкоджає взаємодії азоту з поверхнею. Тому при нагріві металів в повітряному середовищі протікає процес окислення, а не азотування. У зв'язку з цим перед азотуванням або іншими процесами дифузійного насичення оксидну плівку необхідно видаляти механічним або хімічним шляхом: катодним розпилюванням в тліючому розряді; обробкою елементами, що мають більшу спорідненість до електрона, ніж кисень (фтор, хлор, бром, йод); відновленням воднем при підвищених температурах тощо.

Адсорбція азоту на поверхні перехідних металів значно прискорюється у присутності водню. Цим пояснюється висока активність дисоційованого аміаку як азотуючого середовища у порівнянні з молекулярним азотом. Оскільки перехідні метали мають більшу спорідненість до електрона порівняно з воднем, то за наявності достатньої енергії, необхідної для активації, молекула водню при зіткненні з поверхнею дисоціює на атоми, які віддають свої електрони металу, полегшуючи тим самим утворення негативних іонів азоту. Вважають, що при звичайному азотуванні в аміаку і молекулярному азоті хемосорбція завершується утворенням негативних іонів азоту на поверхні, що насичується.

Цей процес протікає важче у середовищі молекулярного азоту у порівнянні із сумішшю його з воднем (у дисоційованому аміаку). Електронна взаємодія молекулярного азоту з перехідними металами значно зменшується у міру заповнення електронами d-смуги і починаючи з марганцю і заліза, мабуть, припиняється, оскільки зрештою при нагріві в азоті на поверхні марганцю ($3d^5$) і заліза ($3d^6$) нітриди не утворюються, а при взаємодії азоту з гафнієм, цирконієм і

титаном ($3d^2$) вони спостерігаються. Встановлено, що схильність перехідних металів до нітридоутворення, так само як і карбідоутворення, зростає у такій послідовності $Ni > C > Fe > Mn > Cr > Mo > W > Nb > V > Ti > Zr > Hf$ [1]. При звичайному азотуванні молекула азоту, потрапляючи у силове поле металевого кристала, під впливом ван-дер-ваальсових сил починає рухатися до поверхні, втрачаючи потенційну енергію і придбаючи кінетичну.

Іноді кінетична енергія стає настільки великою, що молекула азоту, долаючи сили відштовхування, зближується з поверхнею на відстань, що допускає електронну взаємодію від 0,1 до 0,2 нм. Молекула може розщепитися на два атоми, які втрачають потенціальну енергію і притягуються поверхнею в результаті приєднання вільних електронів металу до атомів азоту, тобто відбувається хемосорбція. Під дією хемосорбції у більшості випадків відбувається не тільки перерозподіл електронної густини, але й міграція на невеликій відстані хемосорбованих іонів, що викликає їх просторовий розподіл, близький до кристалічних ґрат нітридів. Так, у термодинамічно обґрунтованих випадках можуть виникати зародки нітридних фаз.

Інший механізм хемосорбції буде при іонному азотуванні, коли поверхня, що насичується, бомбардується позитивними іонами газу. При цьому у початковому середовищі з чистого молекулярного азоту добре азотується залізо і сталь після попереднього катодного розпилювання (очищення) поверхні, що насичується. Під час іонного азотування поверхня, що насичується, безперервно бомбардується і нагрівається позитивними іонами молекулярного і атомарного азоту. Експерименти показали, що із збільшенням відносної кількості іонів атомарного азоту інтенсифікує процес азотування, а це нерозривно пов'язано з поліпшенням умов для протікання хемосорбції іонів азоту. При додаванні до чистого азоту невеликої кількості кисню різко зменшується відносна кількість іонів атомарного азоту, з'являються позитивні іони кисню і процес азотування не відбувається [1], [12].

Таким чином, процес хемосорбції обумовлений характером електронної взаємодії азоту з поверхнею, що насичується, здійснення якого можливе при утворенні як негативного, так і позитивного іонів азоту.

1.3 Дифузія в металах

Під дифузією розуміють переміщення атомів у кристалічному тілі на відстані, що перевищують середні міжатомні даної речовини [1]. Якщо переміщення атомів не пов'язані із зміною концентрації в окремих об'ємах, то такий процес називається самодифузією. Самодифузія – це переміщення атомів у чистому металі. Дифузія, що супроводжується зміною концентрації, що має місце у сплавах, а також при ХТО, називається гетеродифузією. Дифузія, що викликає фазову перекристалізацію (з утворенням нових фаз), нерідко називається реактивною або реакційною дифузією (Така назва невиправдана, оскільки ніякі хімічні реакції в цьому випадку не протікають. Правильніший такий процес називати – дифузія, що супроводжується фазовими перетвореннями). Цей вид дифузії має місце при насиченні сталі азотом, хромом, кремнієм тощо.

В основі дифузії в металах лежить атомний процес, при якому кожен атом здійснює більш менш випадкові рухи, тобто ряд стрибків між різними рівноважними положеннями в ґратках. Поняття «дифузія» застосовують не до руху окремих атомів, а до макроскопічного потоку речовини. Макроскопічні переміщення речовини є результатом величезного числа невеликих переміщень окремих атомів. Рухомою силою дифузії є градієнт хімічного потенціалу $d\mu/dx$, який може бути викликаний різними причинами. Стосовно ХТО градієнт хімічного потенціалу зумовлюється градієнтом концентрацій dc/dx . Якщо $dc/dx \neq 0$, тепловий рух атомів стає направленим у бік вирівнювання концентрацій (При самодифузії відбувається перенесення атомів того ж сорту, що і атоми основного складу).

1.4 Механізм утворення дифузійних шарів

Механізм формування дифузійного шару в межах розчинності одного елементу в іншому (утворення твердих розчинів змінної концентрації) був встановлений порівняно швидко і однозначно, а застосування теорії дислокацій дозволило вирішити цю задачу на атомному рівні [1].

Особливі труднощі з'явилися при з'ясуванні механізму початкової стадії реакційної дифузії, коли на поверхні, що насичується, виникає шарувата структура, що складається із інтерметалідів або інших з'єднань дифундуючого елементу з металом, що насичується. Виникли дві гіпотези початку реакційної дифузії. Перша з них, запропонована Д. А. Прокошкіним, ґрунтується на тому, що спочатку у поверхневому шарі відбувається накопичення дифундуючого елементу до межі розчинності, а потім утворюються з'єднання (фаза). Відповідно до іншої гіпотези В. З. Бугакова у початковий момент на поверхні розділу протікає хімічна реакція утворення з'єднання. Подальше формування дифузійних шарів по обох гіпотезах засноване на дифузії взаємодіючих елементів [1] – [5].

Потім А. А. Попов показав [1], що класичне спостереження (за допомогою мікроскопа або рентгеноструктурного аналізу) за послідовністю утворення нових фаз в дифузійному шарі не може дати відповіді про те, чи виникають вони в результаті хімічної взаємодії або у результаті насичення поверхні упродовжувальним елементом.

Формування дифузійного покриття при хіміко-термічній обробці залежить від багатьох чинників.

Метод дифузійного насичення визначає надходження дифундуючого елементу на поверхню, що насичується, і впливає на структуру дифузійного покриття. Для того, щоб процес ХТО визначався дифузійною стадією, необхідно, щоб початкове середовище поставляло достатню кількість дифундуючого елементу в активному стані, який після адсорбції проникає в глиб металу, що насичується, або сплаву. Встановлено, що при тривалому

дифузійному насиченні одного елементу іншим послідовно виникають однофазні шари, принципово відповідні ізотермічному розрізу бінарної діаграми при температурі дифузії.

Розвиваючи погляди В. Джонса, Д. А. Прокошкин припустив [1], що перекристалізація в дифузійному шарі в процесі насичення починається з утворення зародків нової фази на поверхні, які ростуть в радіальних напрямках у всі сторони, утворюючи об'єми напівсфероїдальної форми. Радіальний розвиток нової фази йде до тих пір, поки не відбудеться зіткнення між зернами, що ростуть від різних зародків. Зерна, поступово збільшуючись, набувають стовбчастого характеру. Зростання деяких зерен пригнічується зростанням сусідніх, орієнтація яких сприятливіша. Звичайно стовбчаті зерна направлені поверхні, що перпендикулярно насичується, і ростуть вглиб. Якщо у дифузійному шарі при охолодженні від температури дифузії не проходить фазова перекристалізація, то стовбчасті зерна можна спостерігати при кімнатній температурі після відповідного травлення шліфа (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Мікроструктура молібдену, силіційованого циркуляційним методом впродовж 1 год при 1200 °С у початковому середовищі HCl + Si (травлення сумішшю 95 % HF + 5 % HNO₃ і реактивом Муракамі), ×340

1.5 Хіміко-термічна обробка металів та сплавів

1.5.1 Азотування металів та сплавів

Азотуванням є ХТО, що складається з дифузійного насичення поверхневого шару сталі азотом (азотом і вуглецем) при нагріванні у відповідному середовищі. Азотування частіше проводиться при 500—600 °С (низькотемпературне азотування). Азотування можна піддавати будь-які сталі перлитного, феритного і аустенітного класів, а також чавуни. Останніми роками все ширше застосовується високотемпературне азотування (від 600 °С до 1200 °С) феритних і аустенітних сталей і тугоплавких металів (Ti, Mo, Nb, V тощо). В результаті азотування сталь придбає: високу твердість на поверхні, що не змінюється при нагріванні до 450 °С; високу зносостійкість і низьку схильність до задирак; високу межу витривалості; високу кавітаційну стійкість; хорошу опірність корозії в атмосфері, прісній воді і парі [1].

В процесі азотування оброблювані вироби піддаються невеликій деформації. Азотований шар добре шліфується і полірується.

Процес низькотемпературної газового азотування проводиться в частково дисоційованому аміаку, в суміші аміаку і азоту, аміаку і попередньо дисоційованого аміаку. Для активації процесу в аміачно-водневу суміш вводять кисень або повітря. Широке застосування знаходять атмосфери на основі частково дисоційованого аміаку і вуглецевміщуючих компонентів: природнього і світільного газу, ендогазу, екзогазу, продуктів піролізу синтіну, гасу, спирту тощо [1].

Для азотування застосовують і розплави ціанід-ціанатних солей (рідке азотування).

При низькотемпературному азотуванні (при температурі нижче евтектоїдного перетворення у даній системі) незалежно від того, в якому середовищі проводиться обробка, відбувається переважне насичення сталі азотом і у дифузійному шарі утворюються тільки азотні фази. Вуглець (кисень)

впливає лише на формування на поверхні нітридної фази, яка залежно від цього може бути карбонітридною або карбооксинітридною.

Залізо з азотом утворює наступні фази (рис. 1.2) [1]:

α -фаза – азотистий ферит з ОЦК граткою і періодами (a) залежно від вмісту азоту від 0,28664 нм до 0,2877 нм. Розчинність азоту в α -залізі (рис.1.2) при евтектоїдній температурі не перевищує 0,10 %, знижуючись при кімнатній температурі до 0,004 %.

γ -фаза – азотний аустеніт, має ГЦК гратку ($a = 0,3613$ нм при 1,45 % N і $a = 0,3648$ нм при 2,79 %N), максимальна розчинність азоту в γ -фазі – 2,8 % (рис. 1.2). При 590 °С γ -фаза зазнає евтектоїдний розпад $\gamma \rightarrow \alpha + \gamma'$.

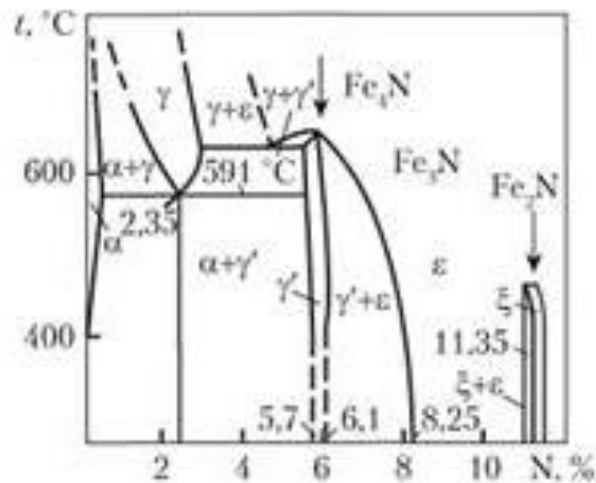


Рисунок 1.2 – Діаграма стану системи залізо-азот [1]

В умовах сильного переохолодження γ -фаза зазнає мартенситного перетворення з утворенням α' -фази (азотний мартенсит) з тетрагональними об'ємноцентрованими гратками; при нагріві (відпуску) азотний мартенсит (α' -фаза) розпадається з утворенням спочатку α'' -фази (Fe_{16}N_2), а при підвищенні температури відпуску γ' -фази — $\alpha' \rightarrow \alpha' + \alpha'' \rightarrow \alpha + \gamma'$. γ' -фаза – твердий розчин на базі нітриду Fe_4N з ГЦК – гратками (a – від 0,3791 нм до 0,3801 нм) із вузькою областю гомогенності від 5,3 % до 5,75 % N; γ' -фаза стійка тільки до 680 °С. При вищій температурі утворюється ϵ -фаза (рис. 1.2).

ϵ -фаза – твердий розчин на базі нітриду Fe_{2-3}N (4,55-11,0 % N) кристалічні грати - гексагональні (значення a від 0,2702 нм до 0,2764 нм, значення c від 0,433 нм до 0,441 нм залежно від вмісту азоту).

При 650 °С і концентрації азоту 4,5 % ϵ -фази зазнає евтектоїдного розпаду на γ - і γ' -фази.

ξ -фаза (Fe_2N) має ромбічну гратку з впорядкованими розподіленими атомами азоту. ξ -фаза стійка в атмосфері аміаку до 450 °С (рис.1.2).

Процес азотування заліза і сталі відбувається в атмосфері частково дисоційованого аміаку;



Термічна дисоціація аміаку є іонізаційним процесом, що супроводжується утворенням іонів в робочому просторі печі. При звичайному нагріві азотний потенціал визначається негативними іонами аміаку.

Константа рівноваги цієї реакції:

$$K = (a_N p_{\text{H}_2}^{3/2}) / p_{\text{NH}_3}, \quad (1.2)$$

де a_N — активність азоту в металі;

p_{NH_3} , p_{H_2} — відповідно парціальний тиск NH_3 і H_2 в газовій суміші.

Активність азоту в металі визначає активність насичувальної атмосфери:

$$a_N^\circ = K \frac{p_{\text{NH}_3}}{p_{\text{H}_2}^{3/2}}, \quad (1.3)$$

оскільки при рівновазі ці активності рівні.

При даній температурі активність визначається відношенням парціального тиску аміаку і водню, яке називається азотним потенціалом або насичуючою здатністю атмосфери

$$a_{N|T}^{\circ} = p_{NH_3} / p_{H_2}^{3/2} = \pi N. \quad (1.4)$$

Азотний потенціал можна пов'язати з складом атмосфери насичення і тиском співвідношенням:

$$\pi_N = \frac{A(1-\alpha)(100+\alpha A)^{1/2}}{(B+1.5\alpha A)^{3/2}} P^{-1/2}, \quad (1.5)$$

де A – вміст NH_3 в газовій суміші;

B – вміст H_2 в газовій суміші;

α – ступінь дисоціації NH_3 ;

P – загальний тиск суміші.

Таким чином [1], можна знайти залежність активності насичуючої атмосфери від температури, тиску і складу газової суміші, тобто визначити концентрацію азоту, яку може забезпечити у виробі дана атмосфера. Для суміші CH_4 з NH_3 вуглецевий потенціал π_C залежно від ступеня дисоціації аміаку (α) і його розбавлення (λ) визначається з рівняння:

$$\pi_C = [(1 - \alpha) (1 + \alpha\lambda)] / (1,5\alpha\lambda)^2 \quad (1.6)$$

Дійсна активність атмосфери A_k з урахуванням кінетики розпаду в реальних умовах процесу може бути описана наступним рівнянням, запропонованим Межоновим А. Е.:

$$A_k = (\pi_N - a_N \exp \frac{\Delta G_T^0}{RT}) \cdot \int_{P_{NH_3}^{KOH}}^{P_{NH_3}^{HAC}} P_{H_2}^{3/2} / P_{NH_3} \cdot dP_{NH_3}, \quad (1.7)$$

де ΔG_T^0 – зміна енергії Гіббса реакції $xMe + NH_3 = Me_xN + 3/2H_2$;

a_N – термодинамічна активність азоту в металі.

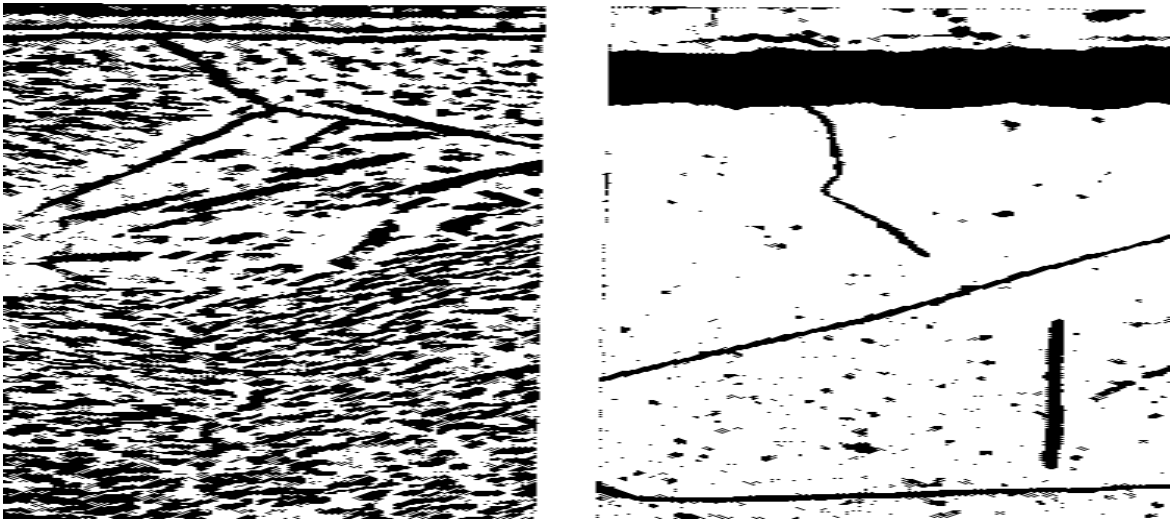
Величина A_k рівна нулю при $P_{NH_3}^{кон} = P_{NH_3}^{нач}$ (відсутність дисоціації NH_3) і при рівності потенціалів $\pi_N = a_N \cdot \exp \frac{\Delta G_T^0}{RT}$. Оскільки перший співмножник – рівномірно убуюча функція, а другий – рівномірно зростаюча функція ступеня дисоціації, то величина A_k має екстремум (максимум). З приведенного рівняння видно, що активність при малих ступенях дисоціації обмежена кінетичним чинником $\left(\int \frac{P_{H_2}^{3/2}}{P_{NH_3}} \right)$, не зважаючи на високий потенціал π_N , а при великих ступенях дисоціації термодинамічним чинником $-\left(\pi_N - a_N \exp \frac{\Delta G_T^0}{RT} \right)$, не зважаючи на велику кількість активного азоту.

Механізм формування азотованого шару на залізі підкоряється загальному правилу [1], згідно якому у дифузійному шарі утворюються однофазні зони у відповідності монофазними областями діаграми стану Fe-N (рис.1.2), що перетинаються ізотермою при даній температурі насичення. Дифузійні шари утворюються у тій же послідовності, що і однофазні області на діаграмі стану при даній температурі. (При багат шаровому дифузійному шарі товщину окремих фаз (наприклад ϵ -фази) іноді виражають у частках від загальної товщини шару $x_i/x_{общ}$, де x_i – товщина i -того шару.

На рис. 1.3 – 1.4 приведені мікроструктури азотованого шару на залізі. При переході від однієї фази до іншої в азотованому шарі, одержаному на залізі, відбувається перепад концентрації, який встановлюється при температурі насичення і зберігається після охолодження. Величина перепаду концентрацій відповідає двофазним областям на діаграмі стану Fe-N (рис.1.2).

Швидкість росту кожної фази визначається інтенсивністю дифузійних процесів у нижче- і вищерозташованих фазах.

При вмісті азоту 35 % на поверхні при охолодженні можливе утворення ξ -фази (Fe_2N). У ξ -фазі нерідко можна спостерігати пори, що знижують



a – температура азотування нижча за евтектоїдну (550 °С);

б – температура азотування вища за евтектоїдну (620 °С)

Рисунок 1.3 – Мікроструктури азотованого шару, $\times 500$



Рисунок 1.4 – Мікроструктура після азотування при 620 °С і

подальшого гартування, сталь 45, $\times 500$

твердість і межу витривалості азотованої сталі. Утворення пор зв'язують з метастабільністю нітридних фаз, азот з яких прагне виділитися у вільному вигляді, що приводить до появи на дислокаціях, межах зерен і блоків газоподібного азоту, що знаходиться під високим тиском спочатку в атомарному, а потім молекулярному стані. Під впливом цього тиску на дислокаціях і межах зерен зароджуються пори, стінки яких нерідко окислені.

Вплив легуючих елементів на термодинамічну активність і розчинність азоту у фазах азотованого шару розглянуто у роботі [22]. Легуючі елементи

(ЛЕ) впливають на термодинамічну активність азоту в сталі, і, відповідно до цього, при однаковій активності атмосфери вміст азоту у сталі визначатиметься кількістю і інтенсивністю впливу легуючих елементів.

Розрахунок впливу легуючих елементів заснований на методі К. Вагнера, що дозволяє оцінити ступінь впливу легуючих елементів на вміст азоту в сталі за даними, одержаними при вивченні дво- і трикомпонентних систем Fe-N і Fe-N-ЛЕ. При цьому постулюється аддитивність впливу ЛЕ, тобто вважається, що легуючі елементи при малих їх концентраціях у конструкційних сталях між собою не взаємодіють, а вплив декількох ЛЕ можна оцінити, підсумовуючи ефекти від впливу окремих елементів.

Виділення зміцнювальних фаз – нітридів легуючих елементом в зонах внутрішнього азотування відбувається по механізму утворення і зростання зародка після формування азотного твердого розчину. Як показали термодинамічні розрахунки, утворення нітридів в процесі азотування можливе по двох механізмах: при взаємній дифузії азоту і легуючих елементів в α -твердому розчині і з карбідів легуючих елементів.

Перший механізм реалізується при азотування легованого фериту, а також сталі, що містить Cr, Mo, W тощо елементи, значна частина яких (від 50 % до 70 %) знаходиться після поліпшення в твердому розчині [1]. При низьких температурах азотування (від 500 °C до 520 °C) утворюються тонкі пластинчасті зародки нітридів, повністю когерентні з α -розчином. При вищих температурах (550 °C) виникають крупніші пластинчасті нітриди (від 2 нм до 4 нм), у яких атоми утворюють структуру B1, а атоми азоту займають октаедричні пори. Утворення таких нітридів призводить до часткового порушення когерентності. Подальше підвищення температури (вище 550 °C) веде до утворення крупніших нітридів (10 нм), і повному їх відриву від матриці. Азотування при від 600 °C до 700 °C супроводжується коагуляцією і сфероїдизацією нітридів. Для утворення нітридів мінімальна кількість азоту в розчині повинна бути не менше $10^{-1} - 10^{-4}$ % (за масою) (Гранична розчинність

азоту в α -залізі складає 0,1 %, а в легованій сталі підвищується до 1,0 %). Для ванадію концентрація азоту повинна бути від 10^{-5} % до 10^{-7} % (за масою).

Інший механізм [1] реалізується у разі легування сталі Ti, Zr, Hf та елементами, які присутні в сталі переважно у вигляді карбідів. При високому вмісті хрому, коли утворюються карбіди (Me_7C_3 та Me_{23}C_6), також можливий цей механізм. При ізоморфних кристалічних ґратках перехід карбідів у нітриди можливий за механізмом «на місці» в результаті прямої взаємодії азоту з карбідом ($\text{N} + \text{MeC} \rightarrow \text{N} + \text{Me}(\text{C}, \text{N}) \rightarrow \text{N} + \text{Me}(\text{C}, \text{N}) \rightarrow \text{MeN}$). Для утворення нітридів Ti, Zr, Hf по цьому механізму потрібна мінімальна кількість азоту у твердому розчині від 10^{-2} % до 10^{-4} % (по масі) і для V- 10^{-3} % (по масі). Для перетворення Cr_{23}C_6 -CrN концентрація азоту в розчині повинна бути не менше 10^{-1} % (за масою).

Можливе утворення нітридів TiN, VN тощо за рахунок розчинення при температурі азотування карбідів у фериті і подальшого виділення нітридів з розчину.

Термодинамічні розрахунки показали, що утворення нітридів з карбідів типу Fe_3C , W_2C , Mo_2C за механізмом «на місці» неможливе, оскільки вимагає концентрації азоту в α -розчині значно перевищуючій межу його розчинності. Вірогідність переходу карбіду в нітрид зменшується в наступній послідовності $\text{Zr} > \text{Ti} > \text{V} > \text{Nb} > \text{Cr} > \text{Mn} > \text{Fe}$.

Алюміній не утворює в азотованому шарі нітриду, а розчиняється в γ' -фазі - $(\text{Fe}, \text{Al})_4\text{N}$. Легування сталі Al і Ti сприяє розвитку в азотованому шарі легової γ' -фази, розташованої у вигляді голок (пластин) по площинах ковзання і межах зерен на значну товщину, що окрихчує шар.

Азотування заліза не викликає значного підвищення твердості [23]. Високу твердість мають тільки γ' -фаза і азотний мартенсит α' . Всі легуючі елементи зменшують товщину азотованого шару, але різко підвищують твердість на поверхні і по перетині дифузійного шару. Азотна ϵ -фаза в більшості випадків має знижену твердість. Висока твердість зони внутрішньої азотування, становляча основну частину шару, зв'язана з утворенням твердого

розчину і виділенням нітрідів легуючих елементів, що спотворюють ґратки матриці і утрудняють пластичну деформацію.

Найвища твердість відповідає температурам насичення, при яких утворюються одношарові (по азоту) нітриди, повністю когерентні з α -фазою. Такі сегрегації по азоту мають велику густину в об'ємі твердого розчину, що і зумовлює високу твердість дифузійного шару. Насичення при температурах, при яких частинки нітрідів укрупнюються і когерентність порушується, приводить до пониження твердості.

Алюміній зону внутрішнього азотування не зміцнює. При високому вмісті алюмінію (від 4 % до 5 %) під шаром ϵ -фази формується широка гетерофаза область легованої алюмінієм γ'_{Al} -фази і залізистої γ' -фази з високою мікротвердістю (H1500) і сильними пружними спотвореннями у місцях сполучення двох ізоморфних γ' -фаз з різко відмінними параметрами ґратки.

Висока твердість азотованого шару пояснюється не тільки процесами утворенням нітрідів в процесі азотування, але і більшою розчинністю азоту у фериті, легованому перехідними елементами. Розчинений азот приводить до розвитку високих мікронапружень, релаксація яких нижче за поріг рекристалізації утруднена. При подальшому охолодженні фіксується пересичений азотом твердий розчин, що схильний до старіння. Старіння в процесі охолодження призводить до виділення з твердого розчину легованої γ' -фази і нітрідів легуючих елементів, додатково підвищуючих твердість. Легування сталі декількома елементами призводить до досягнення більшої твердості азотованого шару у порівнянні з легуванням одним елементом.

Конкретні умови експлуатації вимагають створення дифузійного шару з розвитком тих або інших фазових і структурних складових, які визначають працездатність виробів в режимі корозії, зношування, знакозмінних навантаженнях тощо.

Для деталей, що працюють в корозійному середовищі і на зношування, при малих контактних навантаженнях потрібен азотований шар з розвиненою нітрідною зоною, що забезпечує високу опірність корозії і припрацьовуваність

поверхонь, що труться [1]-[5]. Азотований шар з нітрідної зоною рекомендується для зміцнення вуглецевих і легованих конструкційних сталей, що не містять алюмінію.

Для деталей, що працюють при знакозмінних навантаженнях в умовах зношування при високому тиску, необхідний азотований шар, що складається тільки з добре розвиненої зони внутрішньої азотування. Азотований шар без нітрідної зони рекомендується для ріжучого і штампового інструменту, а також деталей із сталі, що містить алюміній (38Х2МЮА), що експлуатуються у режимах динамічного зношування і ударних навантажень (Нітрідний шар на сталях, що містять алюміній, рекомендується лише в тих випадках, коли деталі працюють в парах тертя при корозійній дії середовища, а також в прес-формах литва під тиском в умовах контакту з металевим розплавом). Дифузійний шар, що складається тільки із зони внутрішнього азотування забезпечує високий опір зносу, опір утомленості при вигині і контактному навантаженні.

Утворення на поверхні азотованої сталі нітрідної зони і зони внутрішнього азотування, що володіють великим питомим об'ємом більшим, ніж серцевина, призводить до виникнення у дифузійному шарі великих залишкових напружень стиснення, а у серцевині напружень розтягування.

Контактна втомна міцність у азотованих конструкційних сталей нижче, ніж у цементованих, але вище, ніж у сталі, що пройшла поверхневе гартування при індукційному нагріві. При підвищених контактних напруженнях ефективна товщина азотованого шару (до HV 500) повинна бути не менше 0,5 мм. Азотування слід використовувати для виробів, що витримують високі циклічні навантаження при помірних контактних напруженнях і працюють в умовах тертя – ковзання або абразивного зносу. Азотування підвищує опір сталі кавітаційної ерозії.

Азотований шар є стійким проти корозії в атмосфері, водопровідній воді, перегрійній парі і інших середовищах, що пояснюється високим електродним потенціалом (від 0,1 мВ до 0,13 мВ) ϵ -фази. Тому для отримання надійного

захисту від корозії необхідне утворення на азотованій поверхні щільного шару ϵ -фази.

Азотований шар має високий опір зносу. Зносостійкість азотованої сталі у 4 рази вища за зносостійкість цементованої сталі.

Кращу зносостійкість має азотований шар з розвиненою зоною нітридів Fe_3N , Fe_4N , особливо $\text{Fe}_3(\text{N},\text{C})$ з пониженим вмістом азоту. Утворення крихкого нітриду Fe_2N приводить до його фарбування, що погіршує зносостійкість. Опір зносу зони внутрішнього азотування в легованих сталях вище, ніж у нітриду Fe_3N , але нижче, ніж у карбонітриду $\text{Fe}_3(\text{N}, \text{C})$.

Збільшення твердості не завжди спричиняє за собою підвищення зносостійкості. Пошарове дослідження зносостійкості азотованого шару на легованій сталі, що містить А1 (38Х2МЮА), показало, що найбільша зносостійкість не співпадає з максимальною твердістю і знаходиться на більшій глибині у зоні внутрішньої азотування. З підвищенням температури насичення і тривалості ця невідповідність зростає. Зносостійкість сталей, азотованих при 620 °С, вище, ніж після азотування при температурі від 520 °С до 560 °С, не дивлячись на меншу твердість. Азотований шар на вуглецевих сталях має низьку твердість, але підвищену зносостійкість.

Широке розповсюдження для деталей, що працюють в умовах зношування і втомних навантажень, знайшли сталь 38Х2МЮА і конструкційні сталі, що не містять алюмінію, наприклад, сталі марок 40ХФА, 18ХГТ, 20Х3МВФ, 30Х3МФ1, 38ХНМФА, 40ХГМ, 20Х3ВА, 30Х3ВА, 20ХН2МФ, 18Х2Н4ВА тощо.

Короткочасне азотування інструменту (свердл, мітчиків, накатників тощо) з швидкорізальної сталі підвищує стійкість інструменту до 2 разів [1], [8], [23].

Краще поєднання механічних властивостей, зносостійкості і теплостійкості для інструменту з швидкорізальної сталі досягається при товщині азотованого шару від 0,01 мм до 0,025 мм. Тому інструмент з швидкорізальної сталі рекомендується короткочасно азотувати при температурі від 560 °С до 580 °С в атмосфері аміаку з $\alpha = 30\%$. Тривалість процесу для

отримання шару завтовшки від 0,01 мм до 0,025 мм для дрібного інструменту (діаметром менше 15 мм) складає до 20 хв, для крупнішого (до 30 мм) – до 30 хв і крупного – до 60 хв.

Після вказаних режимів азотування утворюється азотований шар твердістю до 1460 HV і високою теплостійкістю (твердість 700 HV зберігається до 700 °C). Твердість азотованого шару тим вище, чим більше легований твердий розчин [1], [8].

Кращі результати досягаються при азотування в атмосфері аміаку, розбавленого продуктами його попередньої дисоціації. Зменшення азотного потенціалу атмосфери при розбавленні аміаку азотоводородною сумішшю виключає утворення на поверхні плівки крихкої нітридної фази (Fe_{2-3}N) і при деякому зниженні твердості до 1200 HV забезпечує значне підвищення (до 4 разів) працездатності різального інструменту.

Добре азотуються високовуглецеві сталі, що містять 12 %Cr (X12M, X12Ф1). Процес триває до 12 год при температурі від 560 °C до 580 °C. Товщина шару до 0,12 мм, твердість – до 1200 HV. Шар має теплостійкість до 660 °C. Попередня термічна обробка для збереження високої в'язкості включає гартування від зниженої температури (1000 °C) і відпуск при 540 °C.

У сталях для штампового інструменту, що мають підвищену в'язкість, товщина азотованого шару може бути до 0,25 мм. Хромовольфрамкові сталі (3X2B8Ф, 4X5B2ФС тощо) для отримання такого шару азотують при температурі 540 °C від 12 год до 16 год або подвійним циклом до 8 год при температурі до 540 °C і до 6 год при температурі 560 °C. Твердість азотованого шару – до 1240 HV. Шар має високу теплостійкість (до 680 °C).

Краще поєднання міцності, в'язкості і разгаростійкості азотовані штампи мають після гартування із зниженої температури (від 1000 °C до 1050 °C) і відпуску при 570 °C. Після гартування з температури 1120 °C і відпуску при 570 °C твердість і міцність підвищуються, а в'язкість – знижується.

Азотування до 5 разів підвищує стійкість пресформ литва під тиском до розчинення в рідких алюмінієвих сплавах. Деталі пресформ з сталей 3X2B8Ф і 4X5B2ФС рекомендується азотувати товщину шару не менше 0,25 мм.

У деяких випадках, наприклад, для штампів і пресформ, що витримують високі навантаження і не піддаються шліфуванню, застосовують азотування перед гартуванням.

1.5.2 Титаноалітування металів та сплавів

Дифузійне насичення різними елементами, зокрема, титаном та алюмінієм, хромом та алюмінієм, дає можливість значно підвищити жаростійкість і корозійну стійкість металів та сплавів, які працюють в умовах високих температур і в різних агресивних середовищах, а також підвищити твердість, зносостійкість, статичну, динамічну міцність, замінити у ряді випадків дорогі леговані сталі на дешеві вуглецеві [18]. Бориди, карбіди та алюмініди перехідних металів, наприклад хрому, титану, цирконію тощо, мають більш високі експлуатаційні властивості, ніж відповідні сполуки із залізом. Однак ці фази виникають на поверхні сталі тільки при багатоконпонентному поверхневому легуванні в результаті взаємодії насичуючих елементів один з одним.

Одночасне чи послідовне насичення двома і більше елементами дозволяє отримувати і поєднувати у дифузійному шарі властивості, які притаманні окремим сполукам. Відомо [24], [26], [27], що такі покриття можуть мати більш високі фізико-хімічні і механічні властивості у порівнянні з покриттями, отриманими після дифузійного насичення одним елементом.

Структура і товщина комплексних покриттів залежать не тільки від того, якими елементами проводилось насичення, але і від послідовності насичення [1], [18]. Згідно [1], [2], [25], при одночасному насиченні двома і більше елементами, в ряді випадків можна отримати умови в яких дифузія елементів прискорюється.

Одночасне чи послідовне насичення металів і сплавів двома і більше елементами до теперішнього часу вивчено не достатньо, особливо по відношенню складу насичуючих середовищ при одночасному насиченню, а при послідовному не встановлена черговість, в якій необхідно проводити насичення для забезпечення високих експлуатаційних властивостей. Достовірно не встановлено якому способу насичення послідовному чи одночасному слід віддати перевагу, хоча одночасний спосіб значно спрощує процес хіміко-термічної обробки.

Процес поверхневого насичення заліза і сталі алюмінієм та титаном, досліджений в роботах [4], [18]. Згідно [18], найбільш інтенсивне насичення протікає із суміші порошку феротитану і оксиду алюмінію, яка містить 60% FeTi і 40 % Al₂O₃. Згідно термодинамічному аналізу механізм насичення заліза титаном і алюмінієм відбувається відновленням оксиду алюмінію Al₂O₃ титаном до нижчих оксидів AlO і Al₂O. Автори роботи [18] вважають, що в результаті диспропорціювання нижчих оксидів на поверхні сталі адсорбуються атоми алюмінію. У залізо дифундує не весь алюміній, частина його витрачається на відновлення окислів титану, що утворюються. Таким чином в результаті послідовного відновлення титану та алюмінію в суміші утворюються атоми обох насичуючих елементів. Можливо також відновлення алюмінію та титану хлоридами, при цьому можна інтенсифікувати процес насичення.

Присутність вуглецю гальмує дифузію алюмінію та титану. При цьому загальна товщина дифузійного покриття зменшується, а концентрація легуючих елементів у шарі збільшується. На вуглецевих сталях у тонкій поверхневій зоні виявлені фази TiC, Al₃Ti і Fe₂Ti, а у зоні, що розташована нижче – твердий розчин на основі заліза [18].

Дифузійні шари, що утворилися при насиченні сталі подвійними чи потрійними композиціями, які вміщують алюміній, мають жаростійкість, що притаманна алітованому шару і у той же час вони більш стабільні при високих температурах та менш крихкі.

Не зважаючи на велику кількість робіт по дифузійному насиченню

металів і сплавів загальні закономірності хіміко-термічної обробки, параметри дифузії та їх взаємний вплив не можна вважати визначеними. У порівнянні з найбільш розповсюдженими процесами дифузійного насичення металів вуглецем і азотом в області багатоконпонентного дифузійного насичення дослідження знаходяться у початковій стадії.

Аналіз робіт по нанесенню багат шарових покриттів за участю титану та алюмінію, хрому та алюмінію [4], [5], [18] показав доцільність комплексної хіміко-термічної обробки.

Отримані таким чином багат шарові титаноалітованні покриття на сталях поєднують високу твердість, притаманну карбїду титана (до 30 ГПа), та високу жаро- та корозійну стійкість сполук за участю алюмінію. Присутність в покриттях шару на основі α -заліза може негативно впливати на зносостійкість в умовах тертя ковзання. Внаслідок контактної взаємодії покриття може продавлюватися, а крихкі та тверді шари (шар карбїду титана TiC, шари інтерметалїдів) руйнуватися, що без сумніву приведе до зниження властивостей покриттів.

Слід передбачити, що зменшення товщини або повне усунення шару на основі α -заліза може підвищити властивості титаноалітованих сталей. Відповідно до відомих результатів [2], [3], [9] досягти поставленої задачі, а саме – зформувати на сталях титаноалітоване покриття з карбїду титана та інтерметалїдів за участю алюмінію, можливо за рахунок створення додаткового бар'єрного шару. Останній частково чи повністю загальмує дифузїю алюмінію в сталь.

Таким чином, можна припустити, що насичення попередньо азотованих сталей надасть можливість отримати нові титаноалітовані покриття з високими властивостями.

2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження фазового, хімічного складів, будови покриттів із карбідів та карбонітридів перехідних металів, інтерметалідів зумовлює необхідність використання комплексу сучасних, високочутливих методів досліджень фізичного матеріалознавства: металографічного, дюрOMETричного, рентгеноструктурного, рентгеноспектрального методів аналізу.

2.1. Матеріали дослідження

Для вирішення задач, поставлених в даній роботі, в якості матеріалу основи були вибрані легована сталь ШХ15, хімічний склад яких наведено в таблиці 2.1 відповідно.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі ШХ15

Матеріал основи	Вміст елементів, % (мас.)							
	C	Si	Mn	Cr	S	P	Cu	Ni
					не більше			
ШХ15	1,00	0,23	0,30	1,53	0,02	0,027	0,25	0,30

Зразки вищенаведеної марки сталі виготовляли шляхом механічної обробки на токарних, фрезерних та шліфувальних верстатах. Безпосередньо перед процесом нанесення покриттів зразки піддавали ручному шліфуванню, а також знежиренню в етиловому спирті.

2.2 Методика нанесення покриттів

Азотували зразки виготовлені зі сталі ШХ15 в умовах підприємства за традиційною технологією. Зразки завантажували у шахтну печ в середовище аміаку за умов його дисоціації від 47 % до 55 %. Процес проводили при температурі 540 °C впродовж 20 годин.

Дифузійну металізацію контактним порошковим методом проводили в металевому контейнері виготовленому зі сталі 12Х18Н10Т. Для гермитизації контейнера використовували технічне скло, яке оплавлялось при температурах проведення процесу і ізолював зразки з насичуючою сумішшю від окиснення. Для дифузійної металізації використовували насичуючу суміш, що складалась з порошків насичуючих металів (титану та алюмінію), активатору (NH_4Cl) та інертної засипки (Al_2O_3) в такому співвідношенні, % мас.: 40 - Ti, 5 - Al, 50 - Al_2O_3 , 5 - NH_4Cl . Хіміко-термічну обробку здійснювали у шахтній печі при температурі процесу 1050 °С впродовж 4 годин. Введення до складу насичувальної суміші хлористого амонію (NH_4Cl), який дисоціював за температур до 500 °С забезпечувало утворення активної газової фази. Введення оксиду алюмінію Al_2O_3 запобігало спіканню суміші порошків титану та алюмінію в процесі хіміко-термічної обробки.

2.3 Рентгеноструктурний аналіз покриттів

Визначення фазового складу отриманих в роботі покриттів здійснювали шляхом пошарового аналізу поверхні зразків на рентгенівському дифрактометрі ДРОН УМ-1 в мідному $\text{K}_{\alpha 1}$ випромінюванні з використанням монохроматора- монокристалу графіту на дифрагованому пучку [20]. Використання монохроматора дозволило зменшити флуоресцентне випромінювання, а також підвищити співвідношення інтенсивність лінії/шум. Знімання рентгенограм здійснювали при струмі аноду 12 - 14 мА, напрузі до 35 КВ, в інтервалі кутів від 20° до 85° при скануванні з дискретністю 0,05 градусів та часу експозиції від 5 с до 9 с. Дифракційні профілі реєстрували від поверхні вихідних зразків та після послідовного зняття покриття товщиною 5 мкм.

Розшифровка рентгенограм з встановленням фазового складу, а також визначення періодів кристалічних ґраток проводились з використанням пакету прикладних програм PowderCell 2.4 за методом Ритвільда (повнопрофільний

аналіз). При цьому виконували порівняння отриманих дифрактограм з еталонними, приведеними в картотеці JCPDS-ASTM, в основу яких покладена база даних міжплощинних відстаней.

Слід відмітити, що оскільки глибина проникнення рентгенівських променів приблизно дорівнює товщинам покриттів, що досліджуються, на рентгенограмах фіксувались, в багатьох випадках, інтерференції від залізної основи.

2.4 Мікрорентгеноспектральний аналіз покриттів

Зйомка зображення структур і відповідних мікрорентгеноспектральних спектрів виконана на приладі PEMMA-101A при прискорюючій напрузі 30 кВ. Реєстрація піків важких елементів (від натрія і вище) виконані за допомогою системи енерго-дисперсійного аналізу (EDS), блок детектора якого та попередній підсилювач були охолоджені до температури від -130 °С до -160 °С. Реєстрація піків легких елементів (N та C) виконано за допомогою системи хвильового рентгенівського мікроаналізу (WDS). Калібровка інтенсивності зареєстрованих піків виконано за допомогою еталонної лінійки для кількісного рентгеноспектрального аналізу. Обробка інтегрального мікрорентгенівського спектру для отримання атомного складу елементів у зразках здійснювалась за допомогою фірмового програмного забезпечення керуючого комп'ютера приладу PEMMA-101A. В основі роботи пакету прикладних програм полягає ZAF-метод внесення поправок до реальної інтенсивності зареєстрованого піку (поправка на атомний номер, поправка на сенсібілізовану флуоресценцію, поправка на поглинання) [8].

Якісний та кількісний спектральний аналіз зразків з карбонітридними покриттями проводили по товщині дифузійних шарів на скануючому електронному мікроскопі фірми TOKYO BOEKI LTD Jeol марки JSM-6490LV. Робочі параметри установки: розрядження 5 Па, прискорююча різниця потенціалів – від 10 кВ до 20 кВ і сила струму від 10 мА до 15 мА, діаметр

зонда до 2 мкм, глибина проникнення електронного пучка за таких умов до 1,0 мкм, тривалість експозиції встановлювалась експериментально.

2.5 Мікроструктурний аналіз покриттів

Першим етапом мікроструктурного аналізу є приготування шліфів для аналізу. Для запобігання сколювання дифузійних шарів (крихкої карбідної фази) в процесі виготовлення мікрошліфів були застосовані спеціальні струбцини зі сталевими прокладками, які щільно притискають зразки, що досліджуються.

Металографічні дослідження мікрошліфів проводили на мікроскопах МИМ-8 та “Neophot - 21” в інтервалі збільшення 200^X – 1000^X у світлому полі.

Для виявлення мікроструктури використовували травники: ніталь (5 %-ний розчин HNO_3 в етиловому спирті) та реактив Муракамі (10 г $\text{K}_3(\text{FeCN})_6$, 10 г NaOH , 100 мл H_2O) [19]. Останній дозволяє диференціювати фази, які не виявляються звичайними методами травлення. Вказані методи дослідження були використані при вивченні кінетики росту і структури шарів, отриманих при нанесенні покриттів.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

В роботі зразки виготовлені зі сталі ШХ15 піддавали контактним порошковим методом титаноалітуванню за розробленою технологією в вихідному стані та після азотування. Результати досліджень фазового складу отриманих покриттів, які були виконані методом пошарового рентгеноструктурного аналізу, наведені в таб. 3.1 та рис. 3.1

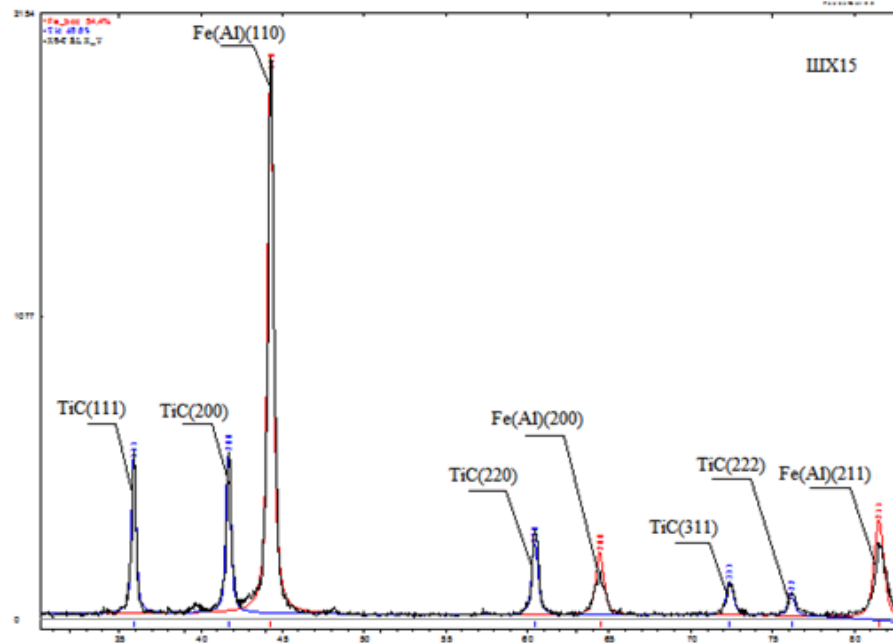
Таблиця 3.1 – Фазовий склад та параметри ґраток сталі ШХ15

Сталь	ХТО	Фазовий склад поверхні	Період ґратки, нм	
			a	b
ШХ15	Титаноалітування	Fe_2TiO_4	1,1292	-
		TiC	0,4326	-
		$Fe_\alpha(Ti,Al)$	0,2889	-
	Азототитаноалітування	Fe_2TiO_4	1,1292	-
		TiC	0,4326	-
		TiN	0,4257	-
		Fe_α	0,2870	-

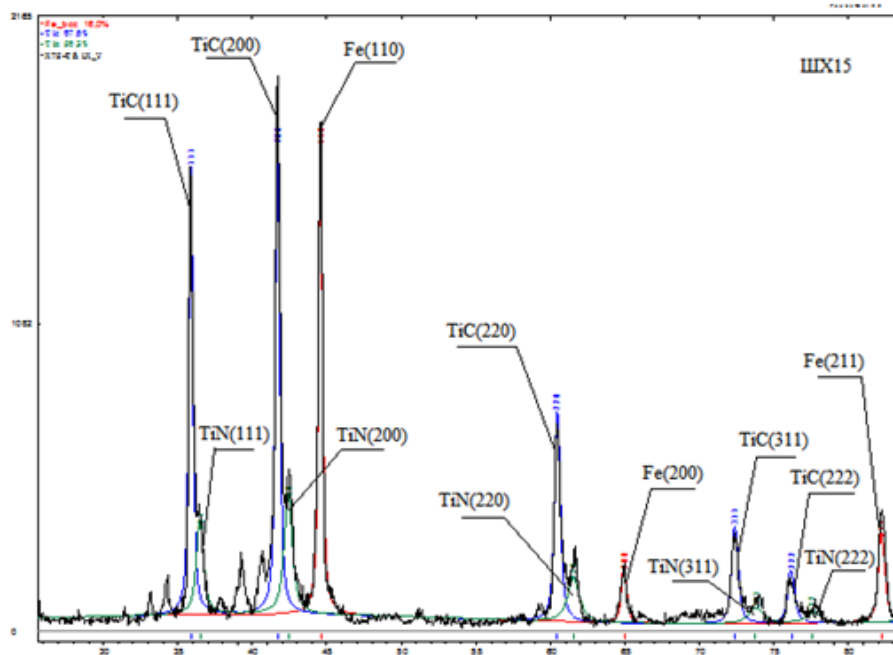
Рентгеноструктурним аналізом показано, що за умов одночасного титаноалітування на поверхні сталі ШХ15 формуються дифузійні шари на основі сполуки Fe_2Ti_4O ($a=1,1292$ нм) та карбїду титану TiC (0,4326 нм). Під карбїдом титану зафіксовано шар на основі $Fe_\alpha(Ti,Al)$.

За умов одночасного титаноалітування попередньо азотованої сталі ШХ15 фазовий склад покриття дещо змінюється. Показано, що на зовнішній стороні дифузійної зони формується шар на основі сполуки: Fe_2Ti_4O . Окрім того, рентгенофазовим аналізом виявлені шари на основі фаз проникнення, а саме на

Інтенсивність рентгенівського випромінювання, відн. один.



а



б

Кут $2\theta, ^\circ$

а – після титаноалітування, б – азотування та наступне титаноалітування

Рисунок 3.1 – Дифрактограма знята з поверхні зразків сталі ШХ15. Випромінювання $\text{Cu } K_{\alpha 1}$, $\lambda = 0,1541841 \text{ нм}$

основі нітриду титана TiN з періодом кристалічної ґратки $a = 0,4257$ нм та карбіда титана TiC, $a = 0,4326$ нм. При цьому шар нітриду титана TiN примикає безпосередньо до основного сплаву (ШХ15), а шар карбіду TiC складає проміжний шар між нітридом титана TiN та зони сполук на основі Fe_2Ti_4O . Визначено, що період кристалічної ґратки фериту, який розташований безпосередньо під покриттям (під шаром нітриду титана) на сталі ШХ15 становить $0,2870$ нм.

Результати досліджень вмісту титану та алюмінію в покриттях та характер їй розподілу в дифузійних зонах на сталі ШХ15 наведено в таблицях 3.2 – 3.3 та на рис. 3.2 – 3.5. Відповідно до отриманих даних, основною відмінністю традиційних титаноалітованих покриттів від отриманих азотуванням з наступним титаноалітуванням є наявність в шарі останніх нітриду титана TiN та відсутність шару легованого α – заліза.

Мікрорентгеноспектральним аналізом було встановлено (табл.3.2, рис.3.3), що максимальна концентрація алюмінію була зафіксована для зовнішніх зон покриття на основі Fe_2Ti_4O , і становила на досліджених сталях від 9,5 % до 19,4 % мас. Кількість алюмінію дещо зменшувалась зі зростанням відстані від поверхні. Так концентрація алюмінію в титаноалітованих покриттях на сталі ШХ15 на відстані 105,0 мкм від поверхні становить 7,4% мас. (при відсутності титану). На азототитаноалітованих сталях титан та алюміній, на вказаній вище відстані від поверхні відсутній.

На основі отриманих даних побудовано графік розподілу елементів по перерізу покриття (рис. 3.2, 3.4).

Характерні мікроструктури сталі ШХ15 з титаноалітованими та з азототитаноалітованими покриттями представлені на рисунку 3.6. Як було показано рентгенофазовим аналізом отримані в роботі покриття на сталях складаються з кількох зон на основі багатоконпонентних сполук, карбідів та зони твердого розчину насичуючих елементів в α – залізі.

Таблиця 3.2 – Розподіл хімічних елементів в покритті на сталі ШХ15 після титаноалітування: $t = 1050\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 4\text{ год}$

№ спектру	Відстань від поверхні, мкм	Вміст елементів, % мас.			
		Cr	Fe	Al	Ti
1	13,8	0,8	44,4	19,4	35,3
2	26,0	0,9	58,6	19,1	21,3
3	32,8	-	2,7	-	77,5
4	34,6	0,3	2,8	0,2	76,2
5	48,4	1,8	89,7	7,3	0,8
6	72,6	1,8	89,4	8,4	-
7	105,0	1,8	90,5	7,3	-
8	135,0	2,3	97,2	-	-

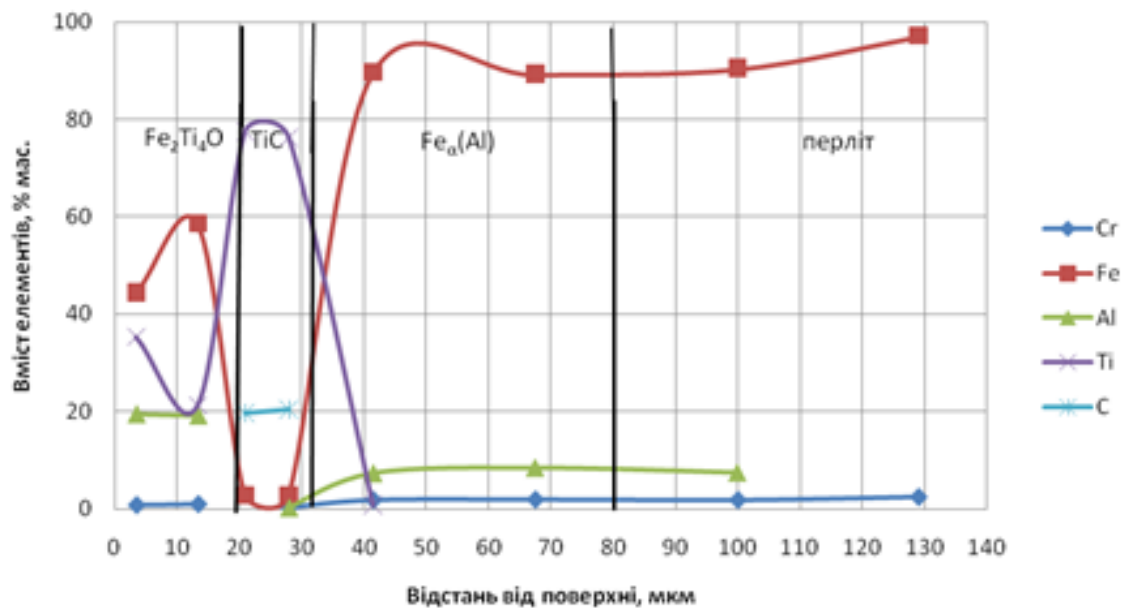
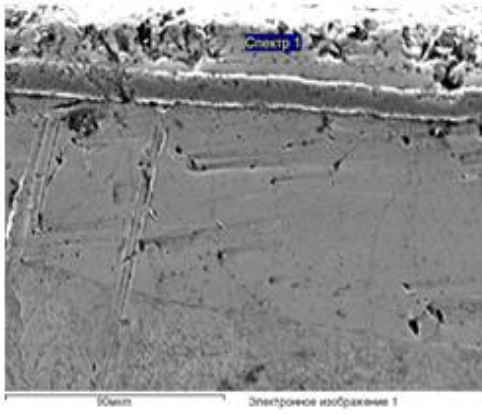
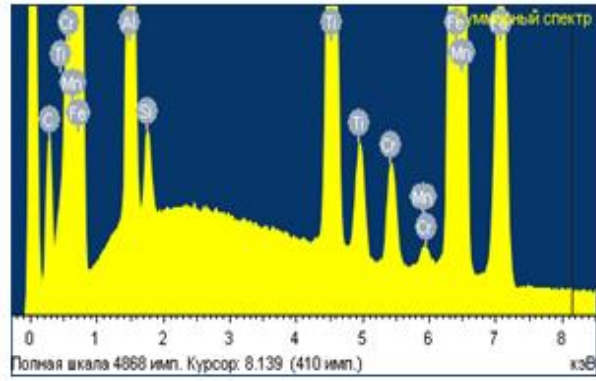


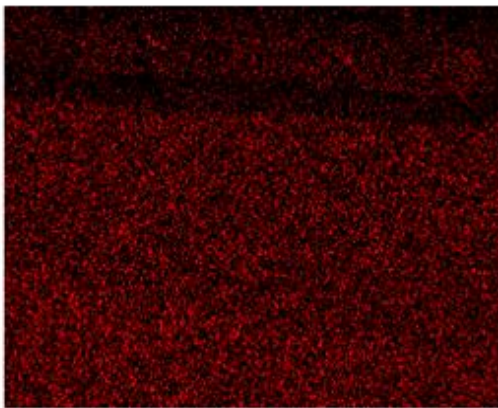
Рисунок 3.2 – Розподіл хімічних елементів по перерізу покриття, отриманого на сталі ШХ15 після титаноалітування ($t = 1050\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 4\text{ год}$)



а

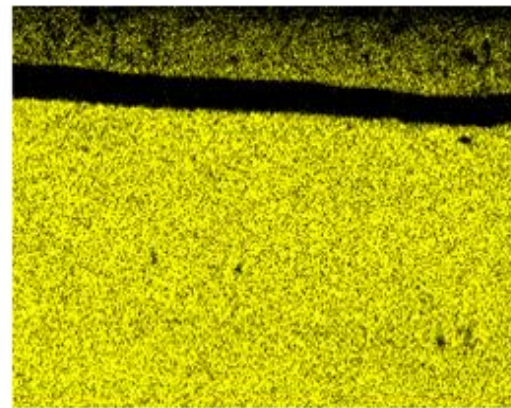


б



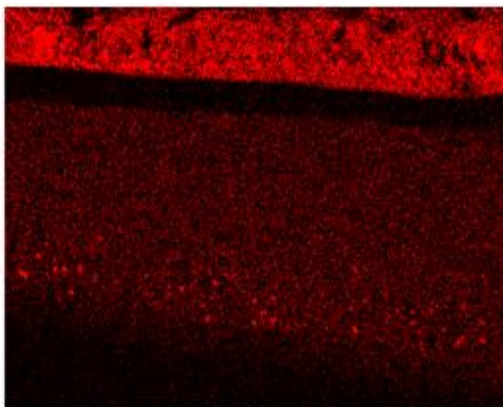
Cr Ka1

в



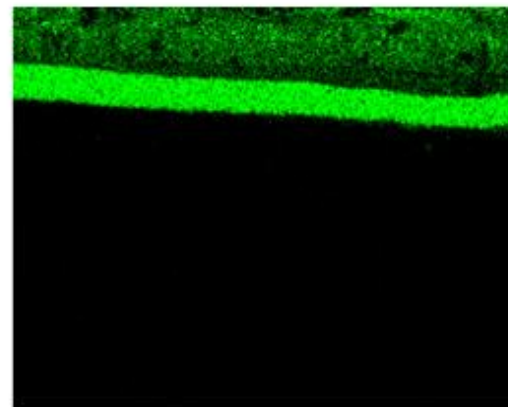
Fe Ka1

г



Al Ka1

д



Ti Ka1

е

в - Cr, г - Fe, д - Al, е - Ti

Рисунок 3.3 – Зображення структури (а), спектральні криві (б) та розподіл елементів по площині шліфа на сталі ШХ15 після титаноалітування ($t = 1050\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 4$ год; характеристичне рентгенівське випромінення у вторинних електронах)

Таблиця 3.3 – Розподіл хімічних елементів в покритті на сталі ШХ15 після азототитаноалітування (азотування $t = 540\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 36$ год), титаноалітування ($t = 1050\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 4$ год)

№ спектру	Відстань від поверхні, мкм	Вміст елементів, % мас.				
		Cr	Fe	Al	Ti	N
1	9,0	0,4	22,4	13,5	63,5	-
2	22,0	0,9	36,7	14,9	46,9	-
3	24,0	0,5	1,5	1,3	85,2	11,2
4	35,6	-	1,5	11,6	-	27,3
5	95,0	2,1	97,0	-	-	-

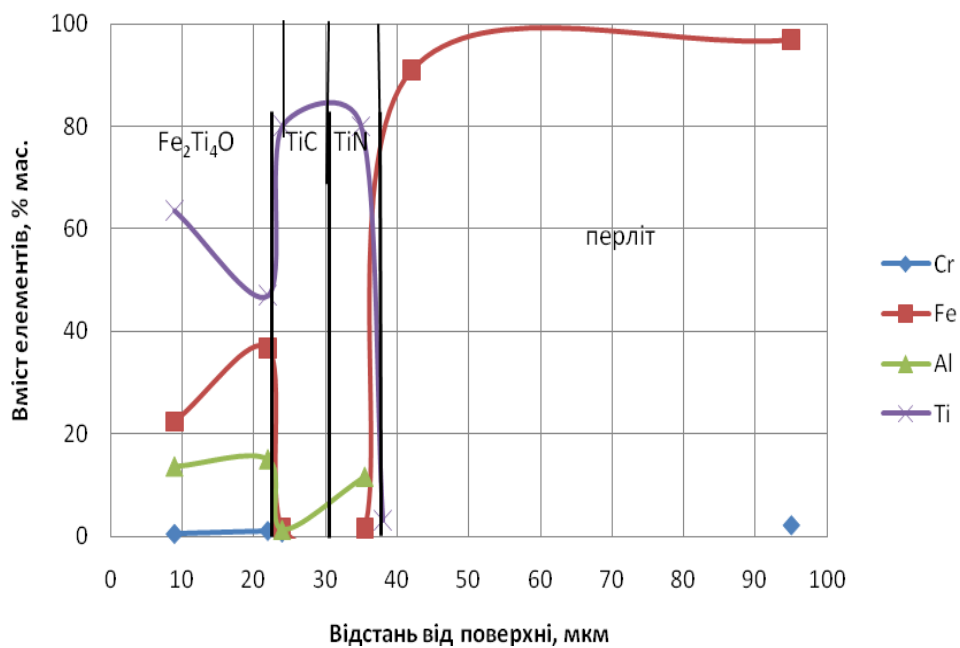
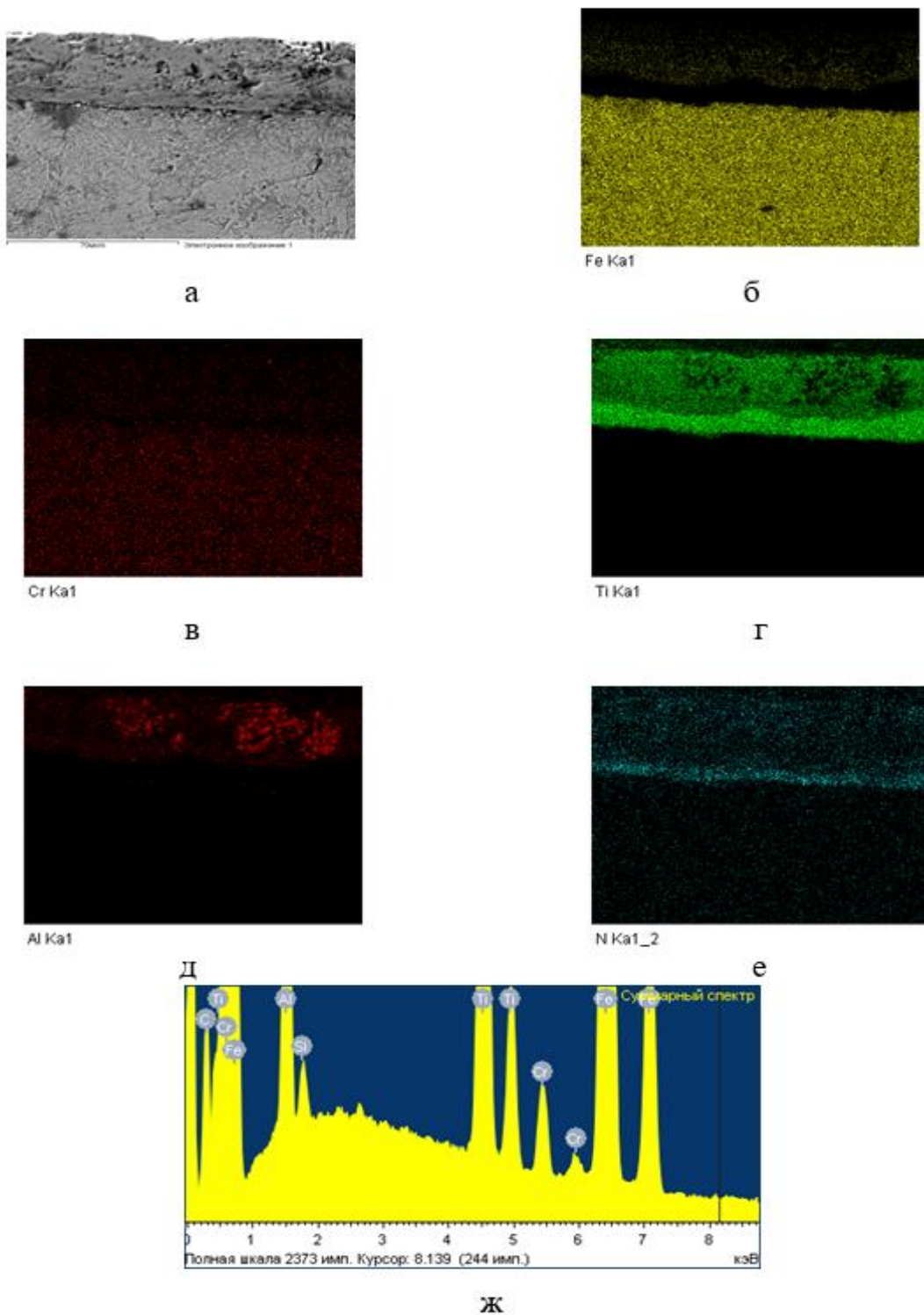


Рисунок 3.4 – Розподіл елементів в структурі на сталі ШХ15 після азототитаноалітування: азотування ($t = 540\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 36$ год), титаноалітування ($t = 1050\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 4$ год)



б - Fe, в - Cr, г - Ti, д - Al, е - N

Рисунок 3.5 – Зображення структури (а), спектральні криві (ж) та розподіл елементів по площині шліфа на сталі ШХ15 (а - е) після азотування ($t = 540\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 36$ год) та наступного титаноалітування ($t = 1050\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 4$ год); (характеристичне рентгенівське випромінення у вторинних електронах)

порівнянні з титаноалітованими зумовлена скоріш за все розчинністю в зовнішніх шарах азоту

Таблиця 3.4 – Мікротвердість покриттів на сталі ШХ15

Вид обробки, температура, °С; тривалість насичення, год	Фазовий склад	Мікротвердість, ГПа
Титаноалітування, 1050, 4	Fe ₂ Ti ₄ O	6,8-8,0
	TiC	35,0
	Feα(Al)	2,8-1,5
Азототитаноалітування; азотування, 540; 20; титаноалітування; 1050; 4;	Fe ₂ Ti ₄ O	14,0
	TiC	34,2
	TiN	22,5

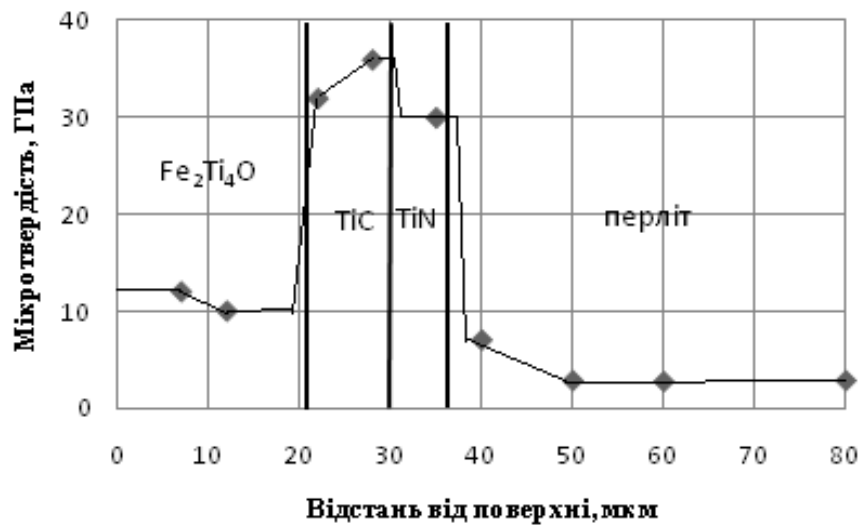


Рисунок 3.7 – Розподіл мікротвердості по перерізу покриття сталі ШХ15 після азототитаноалітування

4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Техніко-економічне обґрунтування науково дослідницької роботи

4.1.1 Актуальність теми дослідження

Вирішення проблеми підвищення працездатності деталей та інструменту буде сприяти збереженню матеріальних, енергетичних та трудових ресурсів.

Аналіз причин виходу з ладу деталей машин та інструменту показує, що за значну більшість експлуатаційних властивостей несе відповідальність поверхневий шар матеріалу. Тому у вирішенні вищевказаної проблеми найважливіша роль належить основному виду поверхневого зміцнення – хіміко-термічній обробці, зокрема азотування та титаноалітування. Зміцнюючи фазовий склад і структуру поверхні матеріалу шляхом формування захисних покриттів, можна домогтися істотного підвищення таких експлуатаційних властивостей, як твердість, міцність, зносостійкість, жаростійкість, корозійна стійкість тощо [1].

Серед відомих типів захисних покриттів найбільш перспективними є азотовані покриття, які володіють комплексом цінних властивостей. Незважаючи на це, рівень використання таких покриттів у промисловості в даний час є недостатнім. При цьому, не усі види такого роду покриттів однаково інтенсивно розробляються і використовуються. Можливо, це пов'язано з тим, що покриття на основі нітридів мають істотні недоліки: високі значення мікрокрихкості і мікропористості, низьку жаростійкість (починають інтенсивно окислюватися вже при температурі 873 К), погане зчеплення з поверхнею оброблюваного матеріалу [7].

Усунути ці недоліки можливо за рахунок додаткового нанесення титаноалітованих покриттів на поверхню хромомістких легованих сталей, зокрема ШХ15 або комплексним насиченням азотованих вуглецевих сталей титаном та алюмінієм. Нанесення таких покриттів на вуглецеві сталі підвищує жаростійкість до 3 разів у порівнянні з корозійностійкими легованими сталлями.

Оскільки застосування легованих сталей, замість відносно дешевих малолегованих сталей (до 15 разів дешевше від легованих коррозійностійких), не завжди економічно виправдано, то перевагу варто надати іншому шляху.

Дотепер відсутні дешеві та технологічно прості способи комплексного насичення сталей титаном та алюмінієм на попередньо азотовану сталь, недостатньо вивчені склад, структура і властивості отримуваних покриттів, немає рекомендацій щодо раціонального складу вихідних реагентів та режимів ведення процесу титаноалітування.

Виходячи із цього, для дослідження було обрано малолеговану хромисту сталь ШХ15, яка знайшла широке використання у різних галузях машинобудування як найбільш масова шарикопідшипникова сталь.

Вищезазначене і визначало актуальність даної науково-дослідницької роботи.

4.1.2 Розрахунок собівартості проведення дослідження

Науково-дослідна робота виконується на кафедрі фізичного матеріалознавства та термічної обробки НН ІМЗ ім. Є.О. Патона КПІ ім. Ігоря Сікорського. Планова собівартість визначається за наступними видатковими статтями:

- Витрати на основні матеріали, необхідні для проведення науково-дослідницької роботи;
- витрати на спецобладнання, необхідне для проведення експерименту;
- витрати на заробітну платню персоналу;
- відрахування в соцстрах;
- витрати на службові відрядження;
- витрати на послуги сторонніх організацій;
- накладні витрати.

4.1.2.1 Витрати на основні матеріали, необхідні для проведення науково-дослідницької роботи

До цієї статті витрат відносяться витрати на придбання основних матеріалів, комплектуючих виробів та напівфабрикатів.

Ціну матеріалів та покупних виробів визначають за ринковими цінами.

Дослідження процесу титаноалітування здійснювалося на сплавах типу ШХ 15. Азотування проводили за відомою технологією у шахтній печі у середовищі аміаку при ступені його дисоціації до 55 % при температурі 540 °С тривалістю до 36 годин.

Дифузійну металізацію проводили безпосередньо на підприємстві: порошковим методом в контейнері з плавким затвором в насичуючій суміші, що складалась із: 40 % Ti, 5 % Al, Al₂O₃ 50 %, NH₄Cl 5 %. Процес проводили при температурі 1050 °С впродовж 4 годин. У якості активатора використовували хлористий амоній (NH₄Cl), який дисоціює при температурі до 500 °С і забезпечує утворення активної газової фази. Для запобігання спікання суміші порошків титана та алюмінію в вихідну суміш вводили оксид алюмінію Al₂O₃.

При виготовленні шліфів для металографічного аналізу використовується абразивна паста Cr₂O₃, та алмазні пасти. Застосовуваний травник – мураками. Зйомка рентгенограми здійснюється на дифрактометрі ДРОН-УМ1. Фотороботи здійснювалися на приладі NEOFOT-2. Дані про основні матеріали, які використовувались в даній роботі, наведені в табл. 4.1.

Транспортні витрати приймаємо в розмірі 10% від преїскурантної вартості:

$$1120,00 \cdot 0,1 = 112,00 \text{ грн.} \quad (4.1)$$

Повна сума витрат на матеріали:

$$1120,00 + 112,00 = 1232,00 \text{ грн.} \quad (4.2)$$

Таблиця 4.1 – Вартість основних матеріалів

Найменування матеріалів	Одиниця вимірювання	Кількість	Ціна (грн).	Сума (грн)
Малолегована хромиста сталь ШХ 15	шт	10	10,00	100,00
Абразивна паста Cr ₂ O ₃	кг	0,2	250,00	50,00
Паста алмазна	кг	0.1	1000,00	100,00
Папір діаграмний	пачка	5	120,00	600,00
Порошок хрому ПХ1С	кг	0,1	1200,00	120,00
Азотна кислота	л	1,0	150,00	150,00
Всього				1120,00

4.1.2.2 Витрати на спеціальне обладнання та прилади

Всі роботи виконуються на вже наявному устаткуванні. Витрати на використання обладнання відносяться до накладних витрат.

4.1.2.3 Зарплата виконавців по темі, основна та додаткова

Витрати за цією статтею складаються з основного та додаткового фонду заробітної плати.

Розрахунок витрат основної заробітної платні ведеться на основі даних по трудомісткості виконання окремих етапів науково дослідницької роботи та денної заробітної платні виконавців (табл.4.2).

Тривалість різних етапів виконання науково дослідницької роботи наведена в табл. 4.3.

Величина прямого фонду заробітної платні (ПФЗП) визначається як добуток трудомісткості на денну заробітну платню виконавця:

Таблиця 4.2 – Розрахунок денної заробітної платні виконавців теми

Виконавець	Місячний оклад (грн)	Денна ЗП (грн)
Відповідальний виконавець теми, провідний науковий співробітник	9894	471,14
Молодший науковий співробітник	8071	384,33
Інженер-дослідник	7464	355,42
Лаборант	6133	292,04

Таблиця 4.3 – Трудомісткість різних етапів виконання науково дослідної роботи

Етапи НДР	Трудомісткість, людино/день			
	провідний науковий співробітник	молодший науковий співробітник	Інженер- дослідник	лаборант
Вивчення літератури	5	10	35	-
Розробка методики	5	5	12	-
Підготовка обладнання	-	3	5	3
Попередня обробка	-	5	15	5
Нанесення покриттів	-	3	7	10
Металографічний аналіз	-	1	8	3
МікродюрOMETричний аналіз	-	1	7	4
Рентгенографічний аналіз	-	7	15	7
Обговорення результатів та оформлення НДР	5	3	3	-
Разом	15	38	107	22

$$\text{ПФЗП} = 15 \cdot 471,14 + 38 \cdot 384,33 + 107 \cdot 355,42 + 22 \cdot 292,04 = 66126,46 \text{ грн.} \quad (4.3)$$

$$\text{ПФЗП} = 66126,46 \text{ грн.} \quad (4.4)$$

Додатковий фонд заробітної платні (ДФЗП) складає 30% від прямого фонду.

$$\text{ДФЗП} = \text{ПФЗП} \cdot 0,3 = 19837,94 \text{ грн.} \quad (4.5)$$

Сума прямого та додаткового фондів заробітної платні:

$$\text{ПФЗП} + \text{ДФЗП} = 66126,46 + 19837,94 = 85964,40 \text{ грн.} \quad (4.6)$$

4.1.2.4 Відрахування на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи (*єдиний соціальний внесок*) складає 22 % від суми прямого та додаткового фондів заробітної платні:

$$V_c = (\text{ПФЗП} + \text{ДФЗП}) \cdot 0,22 = 85964,40 \cdot 0,22 = 18912,17 \text{ грн.} \quad (4.7)$$

4.1.2.5 Витрати на послуги сторонніх організацій

Згідно з планом даної науково дослідницької роботи послуги сторонніх організацій не передбачаються.

4.1.2.6 Накладні витрати

До накладних витрат відносять: заробітна платня адміністративна – управлінського персоналу, господарського та обслуговуючого персоналу з нарахуванням органам страхування; витрати на придбання допоміжного обладнання та приладів; витрати по охороні праці та на техніку безпеки; амортизація приладів, устаткування та установок; витрати на воєнізовану охорону; інші загальногосподарські та дослідницькі витрати.

За нормативами для НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського” величина накладних витрат складає 20% від основної заробітної платні персоналу науково дослідної роботи.

$$N_b = 66126,46 \cdot 0,20 = 13225,30 \text{ грн.} \quad (4.9)$$

4.1.2.7 Планова кошторисна вартість науково дослідницької роботи

Кошторисна вартість (собівартість) теми розраховується по ряду елементів, які наведено в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Планова кошторисна вартість науково дослідницької роботи

Назви калькуляційних статей	Позначення	Сума		Примітки
		грн.	% до загального	
Пряма та додаткова зарплатня персоналу	$Z_{\text{пд}}$	85964,40	72,1	За розрахунком
Відрахування на соціальні заходи	V_c	18912,17	15,86	22 % від ЗП
Витрати на матеріали	C_m	1120,00	0,94	За розрахунком
Витрати на обладнання	$C_{\text{об}}$	-	-	Не планується
Витрати на службові відрядження	C_v	-	-	Не планується
Роботи та послуги сторонніх організацій	C_i	-	-	Не планується
Накладні витрати	H_v	13225,30	11,1	20 % від затрат
Разом	$Z_{\text{ндр}}$	119221,87	100	

4.1.3 Економічна ефективність науково дослідницької роботи

Розрахунок очікуваного економічного ефекту науково дослідницької роботи необхідний для визначення доцільності проведення даної роботи. Однак, економічний ефект може бути розрахований тільки по НДР, які безпосередньо націлені на створення нових матеріалів, покращення параметрів та якості продукції, а також створення нових конструкцій тощо.

За основний показник ефективності фундаментальних досліджень беруть науково-технічний ефект. Науково-технічний ефект $E_{нт}$ пошукових та прикладних досліджень кількісно визначають узагальненим показником, який враховує рівень часткових показників: новизну, перспективність та ступінь реалізованості наслідків НДР. Узагальнений показник можна визначити за допомогою оцінок, виражених у балах:

$$E_{нт} = \sum_{j=1}^3 R_j Q_j \quad , \quad (4.10)$$

де R_j – коефіцієнт вагомості новизни (0,4), перспективності (0,2) та реалізованості наслідків НДР (0,4);

Q_j – новизна, перспективність та реалізованість, балів (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 – Оцінка науково-технічного ефекту науково дослідницької роботи

Показник НДР	Характеристика результатів	Бали
Новизна	Техніко-економічні показники нової технології на галузевому рівні.	3
Перспективність	Технологія може бути впроваджена у металообробці.	4
Реалізованість	Термін впровадження нової технології – до 1-го року	10

Узагальнений показник:

$$E_{\text{нт}} = 3 \cdot 0.4 + 4 \cdot 0.2 + 10 \cdot 0.4 = 6.0 \text{ балів} \quad (4.11)$$

Висновок: Розрахований показник науково-технічного ефекту свідчить, що виконання даної НДР доцільне.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

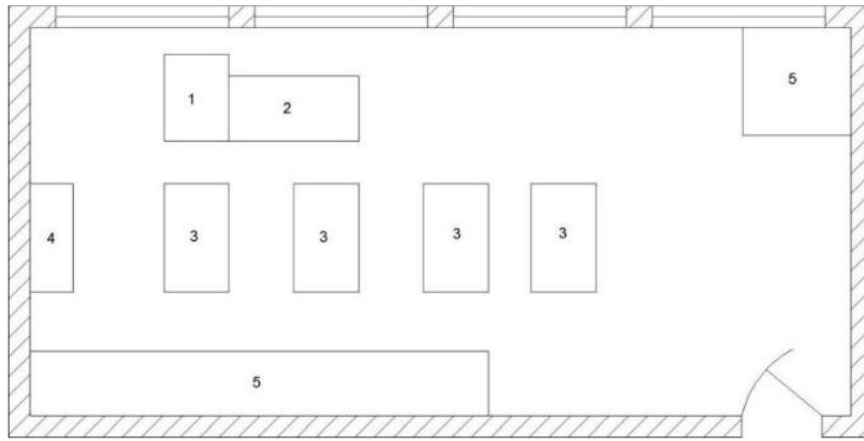
Метою даного розділу є аналіз потенційних шкідливих та небезпечних факторів, які можуть становити ризик для дослідника, а також забезпечення належних умов при проведенні дифузійного титаноалітування з метою підвищення характеристик мікротвердості та зносостійкості деталей шарикопідшипників, виготовлених із малолегованої шарикопідшипникової сталі ШХ15. У даному розділі розглянуто небезпечні фактори на дільниці хіміко-термічної обробки. Також проаналізовано особливості вентилявання на виробництві та розрахунок штучного освітлення.

Крім того, передбачається розробка системи заходів для усунення цих факторів та небезпек у випадку надзвичайних ситуацій під час виконання досліджень на персональному комп'ютері.

5.1 Аналіз параметрів приміщення та мікроклімату в приміщенні

Нанесення дифузійних покриттів проводили на базі НН ІМЗ ім. Є.О. Патона КПІ ім. І.Сікорського в лабораторії хіміко-термічної обробки №304. Схематичне зображення лабораторії представлено на рис. 5.1. Параметри аудиторії представлені в табл. 5.1.

Покриття наносили у печі марки СШОЛ. Відстань між устаткуванням, від устаткування до стін та колон приміщення, інших споруд, ширина проходів та проїздів повинні відповідати чинним будівельним нормам, нормам технологічного проектування цехів та ДБН В.2.2-28:2010. Видалене повітря з виробничих приміщень в атмосферу повинно проходити фільтрацію від шкідливих речовин до концентрацій, що не перевищують допустимих рівнів викидів.



1 – робоче місце з ПК; 2 – робоче місце з машиною тертя МТ-68;
 3 – робочі столи; 4 – шафа; 5 – термічні установки
 Рисунок 5.1 – Схематичне зображення лабораторії хіміко-термічної
 обробки №304

Таблиця 5.1 – Параметри лабораторії хіміко-термічної обробки №304

Параметр	Розмір, м
Параметри аудиторії	
Довжина	6
Ширина	5
Висота	3,2
Параметри вікна	
Ширина	1,7
Висота	2,1

Розміри лабораторії: ширина (5 м), довжина (10 м), висота (3,2 м).

Площа лабораторії складає: $S = a \cdot b = 6 \cdot 5 = 30,0 \text{ м}^2$.

Об'єм лабораторії складає: $V = a \cdot b \cdot c = 6 \cdot 5 \cdot 3,2 = 96 \text{ м}^3$.

Кількість працюючих становить 3 особи.

Таким чином, на одного працюючого припадає $10,0 \text{ м}^2$ площі і 32 м^3 об'єму, що задовольняє вимогам санітарних норм і правил ДБН В.2.2-28:2010. Згідно з ДБН В.2.2-28-2010, де на одну людину повинно приходиться не менше 6 м^2 площі та 20 м^3 об'єму, дані відповідають нормам [28].

Для нормальної працездатності людини важливу роль мають фактори такі, як чисте повітря, температура, вологість повітря у припіщені в залежності

від пори року та категорії важкості робіт, тому виконання науково-дослідної роботи супроводжувалось дослідженням мікроклімату в приміщенні лабораторії.

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 належать 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.).

Згідно ДСН 3.3.6.042-99 категорія важкості робіт – Іа [29]. Ця категорія включає в себе легкі фізичні роботи до 120 Ккал/год., що виконуються сидячи і не потребують фізичного напруження.

Покриття наносили у печі марки СШОЛ. Відстань між устаткуванням, від устаткування до стін та колон приміщення, інших споруд, ширина проходів та проїздів повинні відповідати чинним будівельним нормам, нормам технологічного проектування цехів та ДБН В.2.2-28:2010. Видалене повітря з виробничих приміщень в атмосферу повинно проходити фільтрацію від шкідливих речовин до концентрацій, що не перевищують допустимих рівнів викидів.

Обладнання в лабораторії знаходиться таким чином, щоб ширина проходів складала:

- між стіною будинку та обладнанням – не менш 0,5 м;
- між стаціонарними джерелами живлення – не менш 0,8 м;
- між стаціонарним та багатопостовими джерелами живлення електрошлакового переплавлення, а також рухомими механізмами та деталями, що переміщуються – не менш 1,5 м;
- між обладнанням та місцями складування – не менш 1,0 м.

Результати дослідження параметрів мікроклімату в лабораторії хіміко-термічної обробки №304 наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Величини параметрів мікроклімату в лабораторії 304

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	21	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

Шліфи виготовляли за допомогою механічного паперу та з використанням алмазних паст. Мікроструктурні дослідження проводилися на мікроскопах МИМ-7 та НЕОРНОТ-21 при збільшенні 500 – 1000 разів.

Для виявлення мікроструктури було застосовано реактиви «Мураками» ($K_3Fe_3(CN)_6$ – 10 г, КОН – 10 г, H_2O – 50 мл) та 3% розчин нітратної HNO_3 в етиловому спирті. Час травлення (3-5) с.

5.2 Аналіз повітря

Вплив пилу на організм людини залежить від його складу та 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.

Порошки ніобію, хрому, окиси алюмінію та хлористий аммоній використовуються у вигляді порошку при виготовленні насичуючої суміші. Дрібні частинки порошоків можуть утворювати пил, який впливає на організм людини переважно як фіброгенний фактор та може спричиняти подразнення слизових оболонок дихальних шляхів. Найбільшу небезпеку чинить дрібнодисперсний пил, який на відміну від крупнодисперсного, практично не осідає в повітрі приміщення, а перебуває у підвішеному стані і легко потрапляє до легень.

Порошки насичуючої суміші можуть потрапляти в організм людини через дихальні шляхи і починає діяти в ділянці верхніх дихальних шляхів, при цьому на слизовій оболонці носа можуть розвиватися некротичні процеси.

Чистота повітря в лабораторії визначається вмістом пилу і шкідливих речовин. За ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» встановлені гранично допустимі концентрації шкідливих речовин $q_{ГДК}$ (мг/м³) у повітрі робочої зони виробничих приміщень [29] – [31].

Для захисту органів дихання від попадання в них пилу в даній роботі слід використовувати протипилові респіратори. Для локалізації шкідливих речовин також встановлена механічна витяжна вентиляція марки С4.70-3.2 наведено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Вплив хімічних елементів на організм людини

Хімічний елемент	ГДК мг/м ³	Особливості дії на організм	Клас небезпеки
NH ₄ Cl	6	Фіброгенний	3
Al	10	Фіброгенний	2
Ti	1	Фіброгенний	2

В аудиторії 304 матеріали піддаються різним типам обробки, такими як полірування, шліфування та травлення, з використанням пасти ДОІ (діоксид хрому) та 20% розчину азотної кислоти у етанолі, що є стандартним металографічним травником. Перевищення концентрації цих речовин у повітрі може призвести до запаморочення, отруєння та зниження працездатності.

Гранична концентрація в повітрі шкідливих речовин в аудиторії 304 не перевищена та відповідає нормам.

Кожного дня у приміщенні проводиться вологе прибирання та провітрювання. Отже, можна зробити висновок, що шкідливі речовини та вміст пилу в робочій зоні не перевищують санітарних норм, встановлених для даного типу приміщень.

5.3 Аналіз шуму, вібрації, інфра- та ультразвуку

Основним джерелом шуму є витяжна вентиляція марки С4.70-3.2, яка знаходиться над печами та над шліфувальній установці.

Характер шуму – тональний. Тривалість роботи вентиляції залежить від тривалості роботи печі.

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

1. Фактичний шум складає 65 дБА. Нормування тонального шуму здійснюється відповідно з Державними санітарними норми виробничої загальної та локальної вібрації (ДСН 3.3.6-037-99). 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 наслідок, 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.

Згідно ДСН 3.3.6-037-99 Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації гранично допустимі параметри вібрації дорівнюють: віброприскорення 42 дБА та віброшвидкості 79 дБА.

Вище наведене обладнання не є джерелами інфразвуку та ультразвуку [31] – [33].

5.4 Аналіз освітлення

У лабораторії 304 використовується система комбінованого освітлення – освітлення, при якому в світлий час доби використовується природне та штучне освітлення. При цьому, у випадку недостатньої за умовами зорової роботи природне освітлення доповнюється штучним. Природне освітлення в лабораторії хіміко-термічної обробки – бокове та здійснюється через бокові вікна в наружних стінах з західної сторони.

У світлий час доби використовується переважно природне освітлення, що забезпечує необхідну освітленість, сприятливо впливає на зір працівника, є економічним. Природне освітлення повністю задовольняє встановленим санітарним нормам та дозволяє в світовий день економити електроенергію. Світильники штучного освітлення розміщені у верхній зоні приміщення рівномірно, що сприяє рівномірному розподіленню світла по всьому перетину лабораторії. Відомо [34], що відхилення від норм освітлювання (недостатність чи надмірність) негативно впливає на зір людини – провокує погіршення зору, що може призвести до професійного захворювання. Довготривале перебування в умовах поганої освітленості призводить до близорукості. Для створення оптимальних умов зорової роботи варто враховувати не лише

кількість та якість освітлення, а й кольорове оточення. Так, якщо інтер'єр зафарбований у темний колір, то для створення гарного освітлення необхідно використовувати більш потужні джерела світла, оскільки темна поверхня поглинає значну частину світлового потоку та створює контрастні світлотіні, що втомлюють очі. Причиною втомлюваності може служити також надмірна блискучість поверхонь оточуючих конструкцій. Блискучі поверхні створюють світлові блики, які викликають тимчасове осліплення. Нерівномірність освітлення та неоднакова яскравість оточуючих предметів призводить до частоті переадаптації очей під час роботи і, як наслідок, до швидкого втомлення органів зору. Тому поверхні, що добре освітлюються, краще фарбувати у кольори середньої освітленості, щоб вони мали матову або напівматову поверхню [34].

При поганому освітленні (нерівномірність, недостатність або надмірність) може спостерігатись тимчасове або і безповоротне погіршення здоров'я людини. В залежності від системи освітлення, рівня освітленості та зорової активності, розміру та контрасту об'єкта дослідження та інших характеристик зорової роботи встановлюються нормативні вимоги згідно ДБН В.2.5.28-2006 [34].

Виконання досліджень проводилося в аудиторії №304 9-го корпусу. У цій аудиторії присутнє одне природне бокове освітлення через північне вікно. Відстань до робочого місця становить 3 метри. Характер роботи відноситься до середньої точності (четвертий розряд зорової роботи). Освітлення в аудиторії є комбінованим, включаючи як природні, так і штучні джерела світла. Для місцевого освітлення використовуються розжарювані лампи, а для загального - люмінесцентні лампи ЛБ-40 (10 штук у приміщенні).

5.5 Електробезпека

За діючими правилами побудови електроустановок приміщення лабораторії ПУЕ-2017 виробниче приміщення в якому проводились

дослідження можна віднести до приміщень з підвищеною небезпекою отримання електротравм, з огляду на використанням електроприладів з живленням від мережі з напругою 220 В та відноситься до I та II класів електротехнічних виробів за способом захисту людини від враження електричним струмом у відповідності з ДНАОП 0.00-1.21-98.

Для безпечного використання електрообладнання всі розетки і кабелі повинні бути справними, без пошкоджень, виготовлені та сертифіковані згідно з українськими стандартами. Крім фази та нуля, розетки також повинні мати спеціальний нульовий захисний контакт (заземлення). Для максимальної безпеки спочатку підключається заземлення, а потім струмопровідні контакти, відключення здійснюється у зворотному порядку. Конструкція розеток повинна унеможливити замикання між фазою та нулем, щоб запобігти короткому замиканню.

Основними причинами ураження електричним струмом є:

- Пошкодження ізоляції кабелів живлення системного блоку або монітора, що призводить до контакту з експозованими проводами під напругою.
- Використання саморобних або несертифікованих кабелів або подовжувачів.
- Використання непридатних для даної мережі обігрівачів занадто великої потужності в холодну пору року.
- Наявність напруги на вимкнених ділянках через помилкове увімкнення обладнання.
- Використання пошкоджених розеток і штепселів, які потребують заміни.
- Використання обладнання в умовах або з навантаженнями, не передбаченими виробником.
- Використання незаземленого обладнання.
- Недотримання правил електробезпеки при користуванні електрообладнанням.

Під час аналізу умов виникнення електричного кола через тіло людини розрізняють прямий контакт зі струмопровідними частинами та непрямий контакт через пробій ізоляції на корпусі обладнання. Одним із найчастіших випадків доторкання людини до струмопровідних частин є однофазне дотикання.

У процесі нормальної роботи електроустановок використовуються основні технічні засоби та заходи для забезпечення електробезпеки, включаючи:

- Ізоляція струмовідних частин – застосування матеріалів або оболонок, що відокремлюють струмопровідні елементи від зовнішнього середовища.
- Недоступність струмовідних частин - забезпечення такого розташування елементів, яке запобігає випадковому доторканню або наближенню до них.
- Блоківки безпеки - використання спеціальних пристроїв, що перешкоджають небезпечним операціям або вмиканню електроустановок без необхідних заходів безпеки.
- Засоби орієнтації в електроустановках - використання спеціальних позначень, маркувань або довідкової інформації, які сприяють працівникам в розумінні та ідентифікації елементів електроустановки, а також надають важливу інформацію щодо безпеки та правильної експлуатації.
- Виконання електроустановок, ізольованих від землі - розташування електричних систем і компонентів таким чином, щоб вони були відокремлені від землі, зменшуючи ризик ураження електричним струмом.
- Захисне розділення електричних мереж - створення фізичного розділення між різними електричними мережами для уникнення потенційних небезпек.
- Компенсація ємнісних струмів замикання на землю - застосування спеціальних пристроїв або методів для усунення ємнісних струмів, що можуть виникнути при замиканні на землю.

- Вирівнювання потенціалів - забезпечення однакових потенціалів для струмопровідних частин або систем, що зменшує можливість виникнення небезпечних розрядів.

Живлення всього обладнання в лабораторії здійснюється від мережі з напругою 220В та відповідає ДНАОП 0.00-1.21-98 з Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів [35].

Мікроскоп має підсилену ізоляцію, піч для нанесення покриттів має робочу ізоляцію і елемент для заземлення. Лабораторія 304 належить 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.

У приміщеннях з підвищеною небезпекою допускається напруга ручних переносних світильників, місцевого освітлення виробничого устаткування та електрифікованого ручного інструменту до 36 В, а в особливо небезпечних приміщеннях – до 12 В.

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

При розробці захисних заходів, вважають небезпечним струм величиною 25 мА, при якому важко самотійно відірватись від провідника, а струм величиною 100 мА може призвести до смертельного наслідку [35].

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 [35].

5.6 Пожежна безпека

Відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [36], приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою поділяють на п'ять категорій (А, Б, В, Г, Д). Аудиторію № 304 можна віднести до категорії «Г» відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» так як процес обробки супроводжується виділенням іскор та тепла, таке в залежності від типу ЕІЛ можуть бути присутні горючі гази, легкозаймисті речовини або ж негорючі речовини в розжареному або розплавленому стані, оскільки в приміщенні розташовані печі, за допомогою яких проводять плавку зразків металу: негорючі речовини та матеріали в гарячому, розжареному або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, іскор, полум'я; горючі гази, рідини, тверді речовини, які спалюються або утилізуються як паливо.

Пожежонебезпечними локаціями аудиторії можна визначити місця прокладки електропроводки, де загоряння може виникнути в наслідок короткого замикання, та установка для ЕІЛ, так як в процесі обробки можуть використовуватись легкозаймисті речовини.

На випадок пожежі в лабораторії є водопровід, вогнегасник порошковий ВП-5, а на сходових клітках і в коридорах шухляди з піском, вогнегасники ОХП-10, ОП-1Б, пожежні крани. Приміщення обладнане пожежною сигналізацією автоматичної дії комбінованого типу (оповісник КИ-1). План евакуації із лабораторії в разі виникнення пожежі наведено на рисунку 5.2.

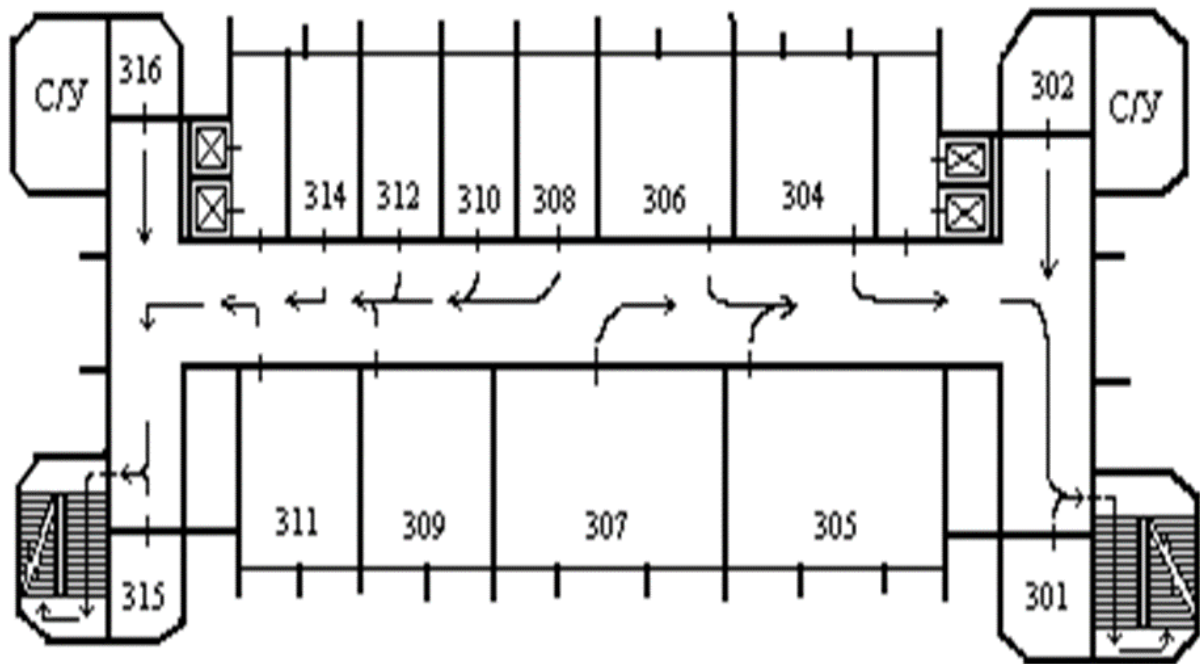


Рисунок 5.2 – План евакуації

Категорія пожежної небезпеки приміщення (будівлі, споруди) - це класифікаційна характеристика пожежної небезпеки об'єкта, що визначається кількістю і пожежонебезпечними властивостями речовин і матеріалів, які знаходяться (обертаються) в них з урахуванням особливостей технологічних процесів, розміщених в них виробництв.

Своєчасне виявлення ознак займання і виклик пожежних підрозділів дає можливість швидко локалізувати осередки пожежі та провести заходи щодо її ліквідації.

5.7 Алгоритм дій у випадку "Повітряної тривоги" за сигналом цивільного захисту

Основні вказівки згідно до наказу від 04.08.2022 № НУ/129/2022 сигнал "Повітряна тривога" поширюється через централізовану систему оповіщення (сирени), регіональне радіо та телебачення. Довготривале звучання сирени триває від трьох до п'яти хвилин і слугує попередженням про загрозу ракетних або авіаційних ударів від противника, а також рекомендацією негайно

переміститись до найближчого укриття. Найближчим укриттям може виступати станція метро.

Крім того можна отримувати сигнал про повітряну тривогу використовуючи мобільні додатки (захисту "Повітряна тривога" та "Відбій повітряної тривоги") що не є релевантним у рамках аудиторії № 040, так як вона знаходиться на -1 поверсі на якому мобільний телефон може не мати доступу до мережі інтернет.

Почувши сигнал „ПОВІТРЯНА ТРИВОГА” на робочому місці необхідно:

1. Швидко, без паніки пройти до укриттів, які знаходяться на території Університету та затверджені Планом закріплення найпростіших укриттів за особовим складом університету, взявши з собою питну воду та їжу.

2. Виконувати вимоги відповідальної особи за евакуацію та розміщення в укритті.

3. У приміщеннях, які є укриттями, не палити, не смітити, голосно не розмовляти, дотримуватися спокою і порядку, обов’язково допомагати дітям, літнім людям та інвалідам.

4. Уважно слідкувати за розпорядженнями та сигналами оповіщення.

5. Після отримання повідомлення про відміну повітряної тривоги, можна виходити з укриття та повертатися до роботи.

Не рекомендується після сигналу „ПОВІТРЯНА ТРИВОГА” залишатися в приміщеннях Університету, які не є укриттями, особливо на верхніх поверхах, адже внаслідок вибуху вони будуть руйнуватися від впливу ударної хвилі.

- перейдіть до більш безпечного місця в приміщенні в якому ви знаходитесь - під несучі стіни подалі від вікон;

- якщо ви запізно почули сигнал «Повітряна тривога» і у вас немає можливості швидко перейти в укриття, в залежності від виду небезпеки, необхідно дотримуватись наступних правил:

Під час обстрілу стрілецькою зброєю:

- Якщо ж ви потрапили під обстріл стрілецькою зброєю, тобто з пістолетів, автоматів, гвинтівок, кулеметів:

- якщо ви вдома, то сховайтеся в безпечному місці: ванній кімнаті або ж самій ванні. Якщо це неможливо, ляжте на підлогу, вкрившись предметами, що можуть захистити вас від куль та уламків;

- на відкритому місці впадiть на землю та закрийте голову руками. Перебувайте біля будь-якого виступу чи заглиблення в землі. Укриттям може стати навіть сміттєвий бак;

- ваше тіло має бути у безпечному положенні: згрупуйтесь, ляжте в позу ембріона, розверніться ногами у сторону пострілів та прикрийте голову руками. Коли почнуться постріли, розтуліть рот, щоб вберегти барабанні перетинки;

- чекайте щонайменше 5 хвилин в укритті, доки стрілянина не вщухне.

Артобстріл, мінометний обстріл чи авіаналіт:

- як що ви почули гучний свист, залп запуску та вибух снаряда може означати, що ви потрапили в зону артобстрілу, мінометного обстрілу або авіанальоту.

- Міноборони пояснює, сам снаряд, як і залп установки, можна помітити та зреагувати. Тому краще постійно стежити за небом. Удень – це димний слід від ракети, вночі – яскравий спалах;

- якщо поруч є бомбосховище і ви почули сирену – знак «Увага всім», терміново йдіть до укриття;

- в укритті увімкніть телебачення або радіо на будь-якому носії або відкривайте сторінки офіційних державних каналів. Там протягом 5 хвилин буде інформація про те, що трапилось. Виконуйте інструкції;

- залишайтеся в укритті щонайменше 10 хвилин після завершення обстрілу, адже існує загроза його відновлення.

У результаті аналізу шкідливих та небезпечних факторів було зроблено висновок що умови праці в аудиторії відповідають нормам і вимогам. Мікроклімат, організація робочого місця, освітлення відповідають санітарним нормам, Рівень шуму, виробниче та рентгенівське випромінення не

перевищують допустимих норм. Також було запропоновано заходи для запобігання виникнення небезпечних для життя та здоров'я людини ситуацій.

ВИСНОВКИ

1. При титаноалітуванні попередньо азотованої сталі ШХ15 утворюються багатошарові покриття. На зовнішній стороні дифузійної зони розміщуються багатокомпонентні сполуки за участю насичуючих елементів титана, алюмінію та елементів основного сплаву – заліза.

Встановлено, що на сталях утворюються багатошарові покриття на основі сполуки $\text{Fe}_2\text{Ti}_4\text{O}$, карбиду титана TiC , нітриду титана TiN .

2. Встановлено, що в традиційних титаноалітованих покриттях на сталі ШХ15 основна кількість титану в покриттях зосереджена в зоні сполук – карбиду титана TiC та фази $\text{Fe}_2\text{Ti}_4\text{O}$; алюмінію – в сполуці $\text{Fe}_2\text{Ti}_4\text{O}$ та шарі на основі α – заліза. Окрім того спостерігається присутність в $\text{Fe}_\alpha(\text{Al})$ твердому розчині легуючих елементів основи, а саме хрому.

3. Встановлено, що в комплексних азоттитаноалітованих покриттях на сталі ШХ15 алюміній зосереджений на зовнішній стороні дифузійної зони в шарі сполуки $\text{Fe}_2\text{Ti}_4\text{O}$ над бар'єрною композицією з шарів TiC , TiN . Формування шару твердого розчину на основі $\text{Fe}_\alpha(\text{Al})$ на сталях, що має місце при титаноалітуванні не встановлено. Кількість заліза в поверхневих зонах майже в два рази нижча.

4. Структура зовнішнього шару на сталі ШХ15 на основі сполуки $\text{Fe}_2\text{Ti}_4\text{O}$ та TiC суцільна, практично безпориста, світлого кольору, однорідна за структурою. Шар нітриду титана TiN тонкий, в більшості випадків жовто-золотистого кольору і прилягає безпосередньо до основи. Покриття не містять тріщин, рівномірні за товщиною.

5. Мікротвердість азоттитаноалітованого покриття досить висока і становить 14,0-34,2 ГПа. Більш висока мікротвердість поверхневого шару на основі $\text{Fe}_2\text{Ti}_4\text{O}$ отриманого азоттитаноалітуванням сталі ШХ15 шару в порівнянні з титаноалітованими зумовлена скоріш за все розчинністю в зовнішніх шарах азоту

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Арзамасов Б. Н. Химико-термическая обработка металлов в активизированных газовых средах. – М. : Машиностроение, 1979. – 225 с.
2. Минкевич А. Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. – М. : Машиностроение, 1965. – 491 с.
3. Дубин Г. Н. Диффузионное хромирование сплавов. - М.: Машиностроение, 1964.-451 с.
4. Борисенок Г. В. Химико-термическая обработка металлов и сплавов/Справочник /Г.В.Борисенок, Л.А. Васильев, Л.Г. Ворошнин. – М. : Металлургия, 1981. – 424 с.
5. Лахтин Ю. М. Арзамасов Б. Н. Химико-термическая обработка металлов. -М.: Металлургия, 1985. -256 с.
6. Самсонов Г. В. Тугоплавкие покрытия / Г. В. Самсонов, А. П. Эпик. – М. : Металлургия, 1973. – 398с.
7. Лоскутов В. Ф., Хижняк В. Г., Погребова І. С., Горбатюк Р. М., Бочар І. Й. Карбідні покриття на сталях і твердих сплавах. Тернопіль: Лілея, 1998. – 144 с.
8. Верещака А. С., И. П. Третьяков. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. – М. : Машиностроение, 1986. – 192 с.
9. Лоскутов В. Ф., Хижняк В. Г., Куницкий Ю. А., Киндрачук М. В. Диффузионные карбидные покрытия. – К.: Техника, 1991. – 168 с.
10. Thompson V., Grearson A. N., Dearntey P. A. Machining ferrous materials with carbides coated by chemical vapor deposition. *Wear Mechanisms. Surface and coat technol.* 1986, 29, №3. – P. 179-205.
11. Ткаченко Ю. Г., Котляренко Л. А., Юрченко Д. З., Шавловский Е. Н. Износостойкие диффузионные карбидные покрытия // *Металловедение и термическая обработка металлов.* – 1978. -№10. с. 89-92.
12. Шатинский В. Ф., Нестеренко М. И. Защитные диффузионные покрытия. - К.: Наукова думка, 1988. – 272 с.

13. Шавловский Е. Н., Борисо Ю. С., Борисова А. Л. Физико-химические условия формирования покрытий из карбида ванадия методом ХТО из расплава на основе буры //Нанесение, упрочнение и свойства защитных покрытий на металлах. – Ивано-Франковск: ИФИНГ. 1990. С.73.

14. Пономаренко Е. П., Плышевский А. И., Супрунчук В. К., Белов Ю. М. Металлизация сталей и сплавов в вакууме. – К.: Техника, 1974. – 294 с.

15. Пономаренко Е. П., Романенко М. Ф., Трусков В. Н. и др. Поверхностное легирование котельных труб.// Защитные покрытия на металлах/ К: Наукова Думка. 1993.- Вып.29.- с.73-76.

16. Добровидов А. Н., Ляпичев В. Г., Гончарова В. С., Горбунов Н. С. Свойства высокотемпературных металлических покрытий на алюминиевых и магниевых сплавах. Жаростойкие покрытия для защиты конструкционных материалов. –Ленинград: "Наука". 1977. – с.170-174.

17. Криворучко В. И. Получение тугоплавких соединений из газовой фазы. –М.: Атомиздат. 1976. -120 с.

18. Земсков Г. В., Коган Р. Л. Многокомпонентное диффузионное насыщение металлов и сплавов. -М.: Металлургия, 1979. – 208 с.

19. Bartson K., Leonharolt A., Wolf E., Schonherr M. Preparation, composition and some properties of codeposition TiB_2 - TiC_x - coatings. *Jornal of Material science* v.26, 1991.- p.3-18-43

20. Price J.B., Borland J.O., Scibrade S. Propities of chemical –vapor-deposited titanium nitride. *Thin Solid Films*, 1993 (236)/ P.311-318.

21. Хижняк В. Г. Азототитанування сталей і твердих сплавів / В. Г. Хижняк, Н. А. Курило, І. В. Летвицька, О. Т. Сердітов // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2008. – № 6. – С. 83–88.

22. Effect of hydrogen heat treatment on antifricion properties of nitrided VT6 titanium-based alloy. Pohrelyuk I.N., Skvortsova S.V., Fedirko V.N., Spektor V.S., Tkachuk O.V. *Journal of Friction and Wear*, 2016, 37(3), pp. 274–281.

23. Bruna C.E.S.Kurelo, Gelson B.de Souza, Silvio L.Rutz da Silva, Natalia de F.Daund, Clodomiro Alves Jr., Ricardo D.Torres, Francisko C.Serbeha. *Tribo-*

mechanical features of nitride coatings and diffusion layers produced by cathodic cage technique on martensitic and supermartensitic stainless steels, *Surface and coatings technology*.2015, 275.-P.41-50.

24. Composition, Structure, and Properties of Ti, Al, Cr, N, C Multilayer Coatings on AISI W1-7 Alloyed Tool Steel//Loskutova, T., Hatala, M., Pogrebova, I., Pavlenko, I., Ivanov, V./Coatings, 2022, 12(5), 616.

25. Protective properties of a new type coatings involving titanium, chromium, aluminum/ Loskutova T.V., Khyzhnyak V.G., Bobina M.M., Nikitina N.S. / *Materials today: Proceedings*. Volume 6, Issue 2,2019, P. 201-210. 10 c.

26. Diffusion Saturation of U8A Steel in a Mixture of Metal Powders with the Chloride Ammonia/ V.G. Hignjak, T.V. Loskutova, G.Y. Calashnicov, I.S. Pohrebova, N.S. Nikitina, N.A. Kharchenko, T.P. Hovorun, I.Y. Smokovych / *J. Nano- Electron. Phys.* 11 No 3, 03022 (2019), 6c.

27. Titanium-Doped Powder Coatings with a TiN Layer on 9Khs Steel and VK8 Hardmetal Substrates/ Khizhnyak V.G., Loskutova T.V., Kalashnikov G.V., Pogrebova I.S.m Dudka O.I. /*Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 2021, 59.

28. ДСТУ 8604:2015 – Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги.

29. ДСН 3.3.6.042-99 – Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

30. Гігієнічні регламенти хімічних речовин у повітрі робочої зони, N 741/35024 від 03.08.2020 р.

31. НПАОП 0.00-1.31-99 – Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислюваних машин.

32. ДСН 3.3.6.037-99 – Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

33. ДСН 3.3.6.039-99 – Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації.

34. ДБН В.2.5-28 2006 – Норми природного і штучного освітлення.

35. 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.

36. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою: затв. наказом М-ва надзвичайних ситуацій від 03 грудня 2007 р. №833.

ДОДАТОК А

Диплом за 1 місце I етапу Всеукраїнської студентської олімпіади з
«Прикладного матеріалознавства» спеціальності 132
«Матеріалознавство», лютий 2022 року

НОН/41/2022/771



Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Диплом
нагороджується

Дудка Вікторія Олександрівна
студентка КПІ ім. Ігоря Сікорського
за I місце

I етап Всеукраїнської студентської олімпіади з "Прикладного матеріалознавства" спеціальності 132 "Матеріалознавство"



Проректор з навчально-виховної роботи
Наталія СЕМІНСЬКА

ДОДАТОК Б

Тези доповідей «ДИФУЗІЙНЕ ТИТАНОАЛІТУВАННЯ ХРОМОВАНОЇ
СТАЛІ У8А»

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ
ІНСТИТУТ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ТА ЗВАРЮВАННЯ
ім. Є.О. ПАТОНА



МІЖНАРОДНА НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ
«МАТЕРІАЛИ ДЛЯ РОБОТИ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ – 12»



15 – 16 грудня 2022

Київ, Україна

Місце проведення конференції

Україна, Київ, проспект Перемоги 37,
 Національний технічний університет України
 «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
 Інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Академік НАН України, д.т.н., проф. І.В. Кривцун, *Україна*
 Академік НАН України, д. фіз.-мат. н., проф. Ю.М. Солонін, *Україна*
 Академік НАН України, д.т.н., проф. П.І. Лобода, *Україна*
 член-кор. НАН України, д.т.н., проф. Т.О. Пріхна, *Україна*
 член-кор. НАН України, д.т.н., проф. С.І. Сидоренко, *Україна*
 д.т.н., проф., С.К. Фомічов, *Україна*
 д.т.н., с.н.с., Г.А. Баглюк, *Україна*
 Prof. Dr.-Ing. Martin Heilmaier, *Німеччина*
 dr hab. inż., проф. Henryk Sobczuk, *Польща*
 dr hab. inż., проф. Janusz Mikuła, *Польща*
 д.т.н., проф. В.М. Константинов, *Білорусь*
 чл.-кор. АН Білорусі Ф.І. Пантелеєнко, *Білорусь*
 д. фіз.-мат. н., проф. М.В. Карпець, *Україна*
 д. фіз.-мат. н., проф. Я.В. Зауличний, *Україна*
 д.т.н., проф. С.Г. Грищенко, *Україна*
 д. фіз.-мат. н., проф. А.Д. Рудь, *Україна*
 к.т.н., доц. Є.В. Іващенко, *Україна*
 к.т.н., доц. К.М. Гриненко, *Україна*
 к.т.н., проф. А.Н. Степанчук, *Україна*

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Юрій Сидоренко – голова організаційного комітету, голова
 вченої ради НН ІМЗ ім. Є.О. Патона Національного технічного
 університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря
 Сікорського», д.т.н., професор.

Олександр Доній – вчений секретар, д.т.н., доцент.

КОМПЛЕКТАЦІЯ ЦЕХУ ЛИТТЯ МЕТАЛУ ЗА МОДЕЛЯМИ, ЩО ГАЗИФІКУЮТЬСЯ, СУЧАСНИМ ОБЛАДНАННЯМ <i>д.т.н., проф. О.Й. Шинський, д.т.н., доц. І.А. Шалевська, д.т.н., с.н.с. В.С. Дорошенко</i>	74
ДИФУЗІЙНЕ ТИТАНОАЛІТУВАННЯ ХРОМОВАНОЇ СТАЛІ У8А. <i>д.т.н., доц. Т.В.Лоскутова, д.т.н., проф. Погребова І.С., Кононенко Я.А., Дудка В.О.</i>	78
Секція 5	
ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ПРОГРАМ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ЛИВАРНИХ ПРОЦЕСІВ <i>Магістрант А.Ю. Бурлака, аспірант К.С. Ханюков, аспірант В.О. Варакін, к.ф.-м.н., доц. Т.П. Говорун</i>	80
ВПЛИВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ І ТЕМПЕРАТУРИ НА АУСТЕНІТНУ СТРУКТУРУ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ <i>д.т.н., проф. Е. Г. Афтандіяні</i>	84
ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛЕЙ СТРУКТУРИ ПРИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ІЗ ЗАДАНИМ ЖИТТЄВИМ ЦИКЛОМ <i>д.т.н., доц. Кузін О.А., д.т.н., проф. Копилов В.І., д.т.н., проф. Кузін М.О.</i>	88
АНАЛІЗ 3D-ДРУКУ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ВИБОРУ ПЛАСТИКА, ЩО ГАЗИФІКУЄТЬСЯ <i>Н.с. О.В. Нейма, д.т.н., с.н.с. В.С. Дорошенко, асп. К.Г. Квасницька</i>	91
Секція 6	
ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ПРИ НАНЕСЕННІ НАНОСТРУКТУРОВАНІХ НІТРИДІХ ПОКРИТТІВ <i>Магістрантка Д.В. Пахненко, аспірант К.С. Ханюков, аспірант В.О. Варакін, к.ф.- м.н., доц. Т.П. Говорун</i>	93
THE EFFECT OF MECHANICAL PROCESSING OF A MIXTURE OF 80% Al_2O_3 + 20% Fe_2O_3 POWDERS ON THE STRUCTURE AND ELECTROCHEMICAL PROPERTIES OF LITHIUM CURRENT SOURCES <i>Master student Liu Guannan, assoc. prof. Y.V. Yavorskyi, prof. Y.V. Zaulychnyy, assoc. prof. O. I. Dudka</i>	97
ІНДУКОВАНІ ФАЗОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ В СИСТЕМАХ Cu-Al-Mn ТА Cu-Al-Mn-Fe <i>к.ф.-м.н. с.н.с. А.М.Тітенко, к.т.н., доц.Л.Д.Демченко,с, к.ф.-м.н. Ю.М.Троценков, студ.О.А. Тітенко, студ. Р.С. Поночовний, студ. К.О.Леонова</i>	99
СТРУКТУРА НАНОРОЗМІРНИХ ПЛІВОК Co-Sb З НАДЛІШКОМ Sb ПІСЛЯ ВІДПАЛІВ У ВАКУУМІ <i>д.т.н. Ю.М. Макогон, к.т.н. Р.А. Шкарбань</i>	105
Секція 7	
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ ВІДПАЛУ НА МІКРОСТРУКТУРУ ПОЛКОМПОНЕНТНИХ ВИСОКОЕНТРОПІЙНИХ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ ФЕРОСПЛАВІВ ФТп70-ФХ800-Мн95 <i>к.т.н. О.С. Макаренко, к.т.н. М.В. Марич, к.т.н. О.М. Мисливченко, д.т.н. Гетьман О.І.</i>	108
СТРУКТУРА FeCrNiWMo ВИСОКОЕНТРОПІЙНОГО СПЛАВУ, СИНТЕЗОВАНОГО ПІД ЧАС МЕХАНІЧНОГО ЛЕГУВАННЯ <i>аспірант Наконечний С.О., д.т.н., проф. Юркова О.І., д.т.н., проф. Мініцький А.В.,</i>	

УДК 621.785

ДИФУЗІЙНЕ ТИТАНОАЛІТУВАННЯ ХРОМОВАНОЇ СТАЛІ У8А.

д.т.н., доц. Т.В.Лоскутова, д.т.н., проф. Погребова І.С., Кононенко Я.А., Дудка В.О.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
ім. Ігоря Сікорського»*

Проблемі підвищення експлуатаційних характеристик інструменту та оснастки із сталі У8А методами ХТО присвячено значну кількість робіт [1,2]. Покриття на основі карбідів перехідних металів мають унікальне поєднання фізико – хімічних та механічних властивостей, формуються на вуглецевих сталях при дифузійному насиченні з використанням суміші порошків насичувальних металів, активаторів [1,2]. Підвищення властивостей, розширення функцій карбідних покриттів можливе за рахунок формування на сталях шарів карбідів Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 , TiC , інтерметалідів алюмінію, хрому, титану методами послідовного насичення [3,4]. Отримані покриття дозволять поєднувати значну твердість карбідів титану, хрому з високою жаростійкістю сполук хрому та алюмінію.

Науково-технічна інформація щодо структури та властивостей багатокомпонентних покриттів титану, хрому та алюмінію на сталі У8А має неповний характер. Таким чином, дослідження фазового та хімічного складів, структури, мікротвердості багатокомпонентних покриттів титану, хрому та алюмінію на сталі У8А є актуальними.

Хромовану за методикою [2] при температурі 1050°C протягом 2 годин сталь У8А титаноалітували. Титаноалітування проводили у порошковій суміші наступного складу: титан 50% мас., алюміній 15% мас., оксид алюмінію 32% мас., хлористий амоній 3% мас. Процес проводили при температурі 1050°C протягом 4 годин. Зразки з покриттями були досліджені методами фізичного матеріалознавства: рентгеноструктурним, мікрорентгеноспектральним, металографічним, дюрOMETричним.

Встановлено (рис.1), що на зовнішній стороні покриття розташовано шар фази Лавеса AlCrTi , до якого примикає гетерогенна зона сполук Ti_3Al , Ti_3Al_2 , Cr_2Ti . Під нею розташовані шари на основі карбиду титану TiC , σ -фази і карбідів хрому Cr_{23}C_6 , Cr_7C_3 . Безпосередньо до основи примикає перехідна зона з незначним вмістом хрому, алюмінію, титану.

Визначено, що шар карбідів хрому Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 і σ -фази, що сформувався в результаті хромування, при подальшому титаноалітуванні деградує. Практично повністю зникає шар σ -фази, а загальна товщина шару карбідів хрому зменшується більш ніж 2 рази порівняно з товщиною шару карбідів у хромованому покритті. При цьому вміст заліза в шарі хрому карбідів практично не змінилося.

Можна відзначити, що звільнені при дисоціації σ -фази та карбідів хрому залізо, хром та вуглець беруть участь у формуванні зони інтерметалідів і шару карбиду титану TiC . Слід зазначити, що концентрація насичувальних елементів – титану та алюмінію, а також заліза та хрому змінюється за товщиною покриття не монотонно.

Аналіз дюрOMETричних досліджень показав, що максимальна мікротвердість характерна для шарів карбиду титану TiC – 34,5 ГПа та карбідів хрому Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 – 17,5 ГПа. Мікротвердість зони інтерметалідів збільшувалася від 5,5 ГПа – шар AlCrTi , до 9,5 ГПа – безпосередньо на межі із шаром TiC . Мікротвердість перехідної зони плавно зменшується від 3,8 ГПа на границі поділу із шаром карбідів хрому до мікротвердості основи.

Можна вважати, що отримані в роботі покриття завдяки значному вмісту хрому і алюмінію, високої мікротвердості окремих шарів відрізнятимуться високою стійкістю до жаростійкості, зносостійкістю в умовах тертя ковзання без мастила, абразивного зносу, корозійної стійкістю в певних агресивних середовищах.

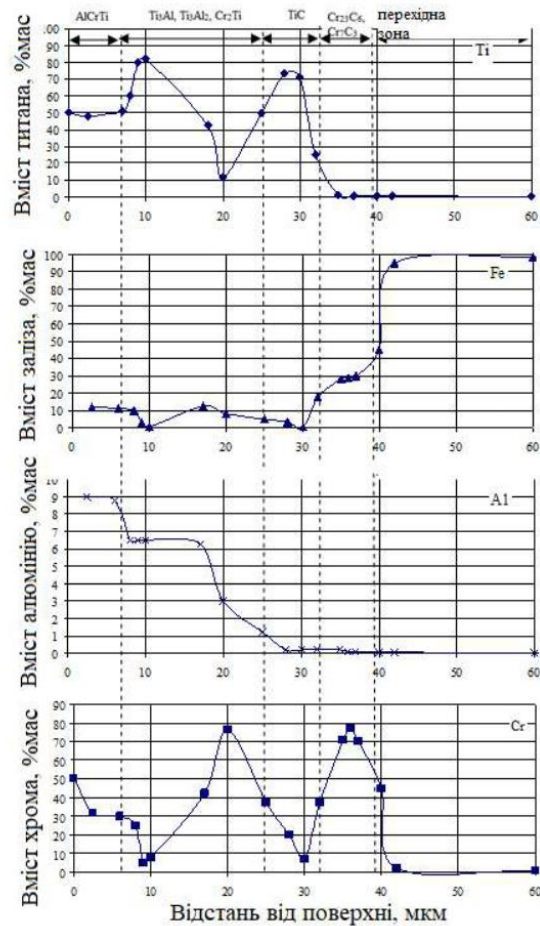


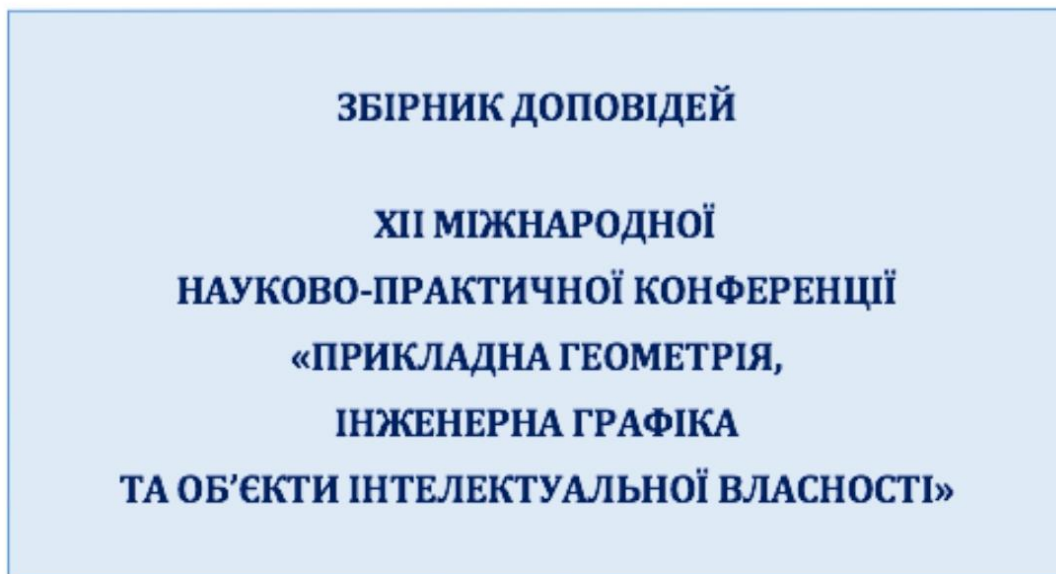
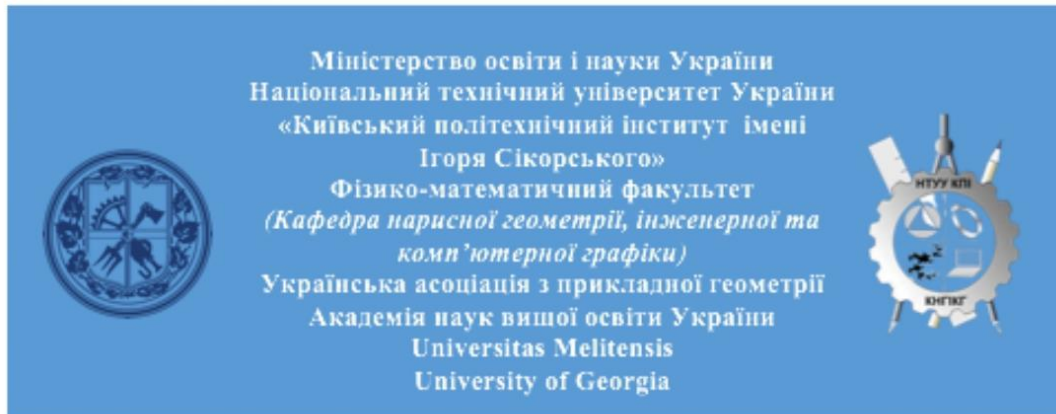
Рис.1. Розподіл елементів по перетину покриття, отриманого титаноалітуванням хромованої сталі У8А.

Література

1. Химико – термическая обработка металлов и сплавов. Справочник./Т.В.Борисенко, Л.А. Васильев, Л.Г.Ворошнин и др.-М.:Металлургия, 1981.- 424 с.
2. Лоскутов В.Ф., Хижняк В.Г. , Погребова І.С., Горбатюк А.М., Бочар І.Й., Карбідні покриття на сталях і твердих сплавах, Тернопіль: Лілея.-144 с.
3. Евтушенко О.В., Хижняк В.Г. Структура и свойства многослойных покрытий на основе хрома, титана и никеля. Защитные покрытия на металлах. Киев: ИПМ НАН Украины, 1988.-№22.- с.66-69
4. Fox-Rabinovich The role of chromium in protective alumina scale formation during the oxidation of ternary TiAlCr alloys in air. Intermetallics, 2004, №12.-P. 165-180.

ДОДАТОК В

Тези доповідей «3D-моделювання ювелірних виробів»



м. Київ, Україна
14 червня 2023

ББК 22.151я43
П75

Відповідальний за випуск – д-р. техн. наук, проф., Ванін В.В.,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Спів організатори конференції:
Українська асоціація з прикладної геометрії,
Академія наук вищої освіти України
Universitas Melitensis
University of Georgia

Збірник доповідей XII Міжнародної науково-практичної конференції «Прикладна геометрія, інженерна графіка та об'єкти інтелектуальної власності» – Випуск 12. – 166 с. з іл.

В авторській редакції

Укладач: канд. техн. наук, доцент Колосова О.П.

Адреса редколегії: 03056, м. Київ, пр-т Перемоги, 37, ФМФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

Тел. (044) 204-94-46. E-mail: geometry@kpi.ua, conferencengkg@gmail.com

© *Автори доповідей, 2023*

© КПІ імені Ігоря Сікорського

ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ АВТОРИЗАЦІЇ НА ОСНОВІ СТАНДАРТУ OAuth 2.0	
Дяк А.М., Тарнавський Ю.А.....	66
СЕРВІСНО-ОРІЄНТОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПОВІТРЯ	
Савко В.Я., Тарнавський Ю.А.....	70
СПРЯЖЕННЯ КРИВИХ ДРУГОГО ПОРЯДКУ КРИВИМИ ДРУГОГО ПОРЯДКУ	
Петриченко О.В., Овсієнко Л.Г.	75
ВИКОРИСТАННЯ АНАГЛІФНИХ ЗОБРАЖЕНЬ В СУЧАСНИХ РЕАЛІЯХ	
Ляховой К.Ю., Овсієнко Л.Г.....	80
DETERMINING THE LINE INTERSECTING PLANES BY MEANS OF GENERAL POSITION PLANES AS INTERMEDIARIES	
Mykhailo Tarasiuk, Hanna Shepel, Oleksandra Hetman	86
CREATING TABLES IN AUTOCAD	
Gumen O.M. , Selina I.B.	92
3D-МОДЕЛЮВАННЯ ЮВЕЛІРНИХ ВИРОБІВ	
Гумен О.М. , Дудка В.О.....	100
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДЕЯКИХ СУЧАСНИХ CAD СИСТЕМ	
Марчук К. А., Колосова О.П.....	106
DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF RELATIVE MOVEMENT OF SCREW DIGGERS BY THE CONJUGATION METHOD	
Vanin V.V., Hrubych M.V.	114
ДО ПИТАННЯ РОЗРОБКИ КОНТРОЛЬНИХ ЗАВДАНЬ З КУРСУ “НАРИСНА ГЕОМЕТРІЯ” В СУЧАСНИХ УМОВАХ	
Залевський С.В., Сила Н.....	117
THE METHOD OF USING AUTOCAD FOR MEASURING THE AREA OF PLOTS OF COMPLEX SHAPE ON THE SURFACE OF THE EARTH	
Olga Golova, Petro Yablonskyi, Oleksii Vorobiov	120
ДЕЯКІ ПИТАННЯ ФАЗОВИХ ПЕРЕХОДІВ	
Тимофеев А.Д., Решетнік А.О., Надкернична Т.М., Лебєдєва О.О.	124
AI'S ROLE IN TECHNICAL DRAWING EDUCATION	
Tamar Pataraiia, Oksana Budnyk, Hanna Shepel.....	127
ДИЗАЙН-МИСЛЕННЯ В ПРОФЕСІЇ ІНЖЕНЕРА. ВАЖЛИВІСТЬ ЦІЛІСНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ ВИРШЕННЯ ІНЖЕНЕРНИХ ПРОБЛЕМ	
Кліщик Д.А., Овсієнко Л.Г., Залевський С.В.....	134
ПОБУДОВА ПОВЕХНІ ОБЕРТАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ПАКЕТУ MATHCAD	
Луданов Д.К., Пергаменщик І.В., Воробйов О.М., Лазарчук-Воробйова Ю.В.	142

УДК 514.18

3D-МОДЕЛЮВАННЯ ЮВЕЛІРНИХ ВИРОБІВ

Гумен О.М., д.т.н.,

Дудка В.О.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

(Україна, м. Київ)

***Анотація** – розглядається питання 3D - моделювання ювелірних прикрас, інтегрування технологій термічної обробки ювелірних сплавів у масовий процес виготовлення виробів на підприємствах. Використання програм моделювання для розв'язування інженерних задач є надзвичайно актуальним і перспективним. 3D - моделювання у технологіях термічної обробки сплавів для застосування у виробництві ювелірних прикрас набуває все більшого поширення. Це значно спрощує і полегшує працю, дозволяє робити кресленики точнішими, при цьому практично виключається можливість помилок, що властиві ручній роботі. 3D-моделі відрізняються точністю і наочністю відображення майбутнього виробу, дозволяють краще уявити собі, як буде виглядати проект, втілений у життя.*

***Ключові слова** – ювелірні прикраси, 3D - моделювання, моделі об'єктів, ескізи проектувальника, прототипування, майстер-модель.*

Постановка проблеми. Популяризація 3D моделювання серед спеціалістів технічних професій є важливим завданням. Використання програм моделювання для розв'язування інженерних задач є надзвичайно актуальним. 3D-моделювання у технологіях термічної обробки сплавів для застосування у виробництві ювелірних прикрас набуває все більшого поширення. Важливо розглянути також безпосереднє використання спеціального комп'ютерного забезпечення для конструювання таких виробів.

Аналіз останніх досліджень. На базі засобів комп'ютерної графіки, а саме тривимірної (3D) технології та інших прогресивних технологій в останній час з'явилися зовсім нові, не схожі ні на що раніш відоме, напрямки виробництва, професії та середовища.

Тривимірна комп'ютерна графіка, а точніше, клас редакторів 3D набув за останні роки достатньо широкого розповсюдження у колах спеціалістів різних напрямків [1 - 4]. Цьому, перш за все, сприяє розвиток спрямованих на працю з 3D графікою не тільки програмних продуктів, а й поява таких апаратних засобів, як 3D - принтери.

3D технології вже настільки міцно увійшли в наше життя, що без деяких методик складно уявити повсякденність. 3D - моделювання є відмінний інструмент для будівельних організацій, студій дизайну інтер'єру,

ювелірних майстерень, промислових підприємств, які готують до виробництва нові вироби. Процес створення віртуальних об'ємних моделей будь-яких об'єктів, дозволяє максимально точно уявити форму, розмір, текстуру об'єкта, оцінити зовнішній вигляд і ергономіку виробу [1].

Так, процес створення 3D - моделі докорінно змінив підходи до конструювання і виробництва ювелірних виробів [5]. Завдяки комп'ютерним програмам модельєри можуть створювати повністю симетричні прикраси, що раніше було дуже непросто навіть висококваліфікованим майстрам. Процес створення 3D - моделі займає набагато менше часу, ніж створення моделі вручну. Об'єкти, виконані за допомогою 3D - моделювання, дозволяють побачити те, чого ще немає.

Поряд з тим 3D - принтери створюють надзвичайно точні моделі. Це значно спрощує виготовлення майстер - моделі, адже це процес доволі складний і вимагає від спеціаліста чималого досвіду та володіння певними навичками.

Формулювання цілей (постановка завдання). Метою даної роботи є розібрати всі етапи конструювання в 3D - моделюванні; визначити найкраще програмне забезпечення для ювелірів; довести необхідність володіння навичками 3D - моделювання для спеціалістів технічних професій.

Основна частина. Термічна обробка ювелірних сплавів є надзвичайно важливим етапом виготовлення виробів у ювелірній промисловості, це один з найважливіших технологічних процесів, в результаті якого метал набуває властивостей, необхідні для подальшої його обробки або використання.

Основний вид термічної обробки ювелірних сплавів – рекристалізаційний відпал. Він визначає або як змінюється перехідний етап між дією холодної пластичної деформації, або як заключний – для того, щоб підвищити пластичність і змінити міцнісні характеристики сплаву.

До деяких сплавів на основі срібла, золота і платин застосовується зміцнююча термічна обробка: гартування і старіння.

При нагріванні металів і сплавів, зокрема дорогоцінних, поверхні їх покриваються оксидами неблагородних металів, що входять до складу сплаву. Видаляють їх шляхом відбілювання. Відбілювання дорогоцінних сплавів веде до часткової втрати лігатури і таким чином загальної маси дорогоцінних металів. Щоб уникнути додаткових втрат і скоротити операцію відбілювання при заготівлі напівфабрикатів, на ювелірних підприємствах застосовують безокислювальний відпал. Це відпал у середовищах, що захищають метал від доступу кисню. Такими засобами можуть бути дисоційований аміак або деревне вугілля [1].

Спеціальним модулем програм для моделювання процесів термічної обробки є QForm Heat Treatment. Ця програма може розповсюджуватися на термічну обробку сплавів, дозволяє прогнозувати фазовий склад та експлуатаційні властивості.

У сучасному світі 3D - моделі створюються за допомогою графічних програм, які дозволяють створювати тривимірну графіку, тобто моделювати об'єкти віртуальної реальності і створювати на основі цих моделей зображення. Створені моделі можна подивитися з усіх боків (зверху, знизу, збоку), вбудувати на будь-яку площину і в будь-яке оточення. В останні роки стійкими лідерами в цій галузі є комерційні продукти, такі як:

Autodesk 3dsMax – повнофункціональна професійна програмна система для створення і редагування тривимірної графіки і анімації, розроблена компанією Autodesk [2]. 3dsMax у своєму розпорядженні містить найсучасніші засоби для створення різноманітних за формою і складністю тривимірних комп'ютерних моделей, реальних чи фантастичних об'єктів навколишнього світу, з використанням різноманітних технік і механізмів.

AutoCAD – система автоматизованого проектування і креслення в режимі 2D і 3D, розроблена компанією Autodesk. Перша версія системи була випущена в 1982 році. AutoCAD і спеціалізовані додатки на його основі знайшли широке застосування в машинобудуванні, будівництві, архітектурі та інших галузях промисловості. Програма випускається на 18 мовах. У даній програмі за допомогою 2D інструментів можна створити ескіз складної деталі, а потім перевести її в тривимірний простір [3].

КОМПАС-3D – система, призначена для створення тривимірних асоціативних моделей окремих деталей та складальних одиниць, що містять як оригінальні, так і стандартизовані конструктивні елементи. Параметрична технологія дозволяє швидко одержувати моделі типових виробів на основі один раз спроектованого прототипу. Численні сервісні функції полегшують вирішення допоміжних завдань проектування й обслуговування виробництва [5].

Сам процес проектування ювелірних виробів поділяють на декілька етапів.

Підготовчим етапом дизайн-проективання ювелірного виробу є складання завдання на створення нової моделі, в якому обґрунтовують та уточнюють основні вимоги до художньо-конструкторської розробки виробу.

Далі визначають основні композиційні особливості майбутнього ювелірного виробу, відбувається конструкторсько-технологічна проробка: вибір конструкції, за допомогою якої можливо виконати усі задані вимоги з наближеним збереженням виразності та технологічності виробу [2].

Замальовки і ескізи є основою для майбутніх ювелірних виробів (рис.1). Готовий ескіз, виконаний ювелірним дизайнером, передається спеціальному ювелірному художнику, який малює тривимірну 3D модель в спеціальній програмі, наприклад Matrix 3D Jewelry Design Software, в якій можна визначити всі розміри ювелірного виробу, що виготовляється, каратності вставленого діаманта і багато іншого [3].

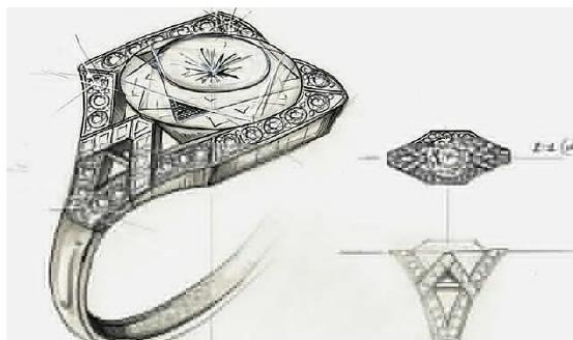


Рис. 1 – Ескіз ювелірного виробу

Результатом роботи 3D художника стає спеціальний CAD файл (рис. 2), який в подальшому використовується для вирощування пластикової моделі.

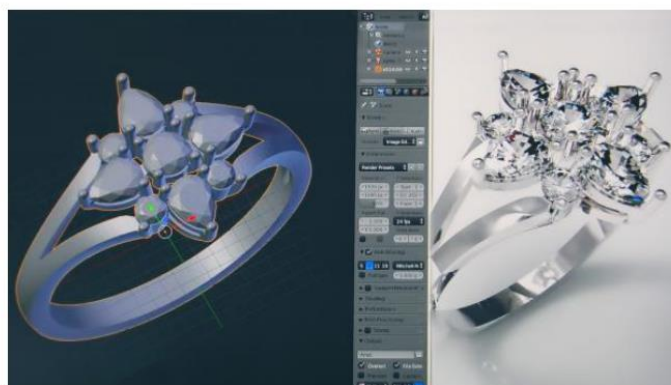


Рис. 2 – 3D-модель ювелірної прикраси

Візуалізація – це одна із складових частин 3D-моделювання (рис. 3).

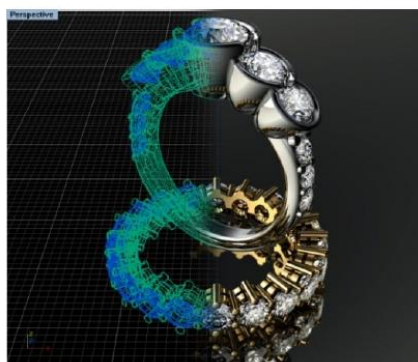


Рис. 3 – Візуалізована за допомогою графічних редакторів модель

Візуалізація дозволяє отримати готове зображення тривимірної моделі в «плоскому» варіанті залежно від складності об'єкта та бажаної якості отриманих зображень.

Візуалізація може тривати від декількох хвилин до десятків годин. Це складний процес, який вимагає від користувача досконалого знання параметрів та особливостей їх застосувань.

Наступний етап – виготовлення прототипу ювелірного виробу, вирощування пластикової моделі на спеціальному 3D принтері Solidscape (рис. 4) зі створеного раніше CAD файлу.

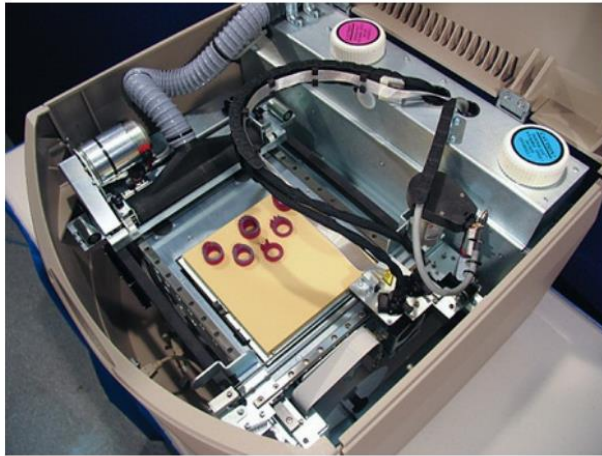


Рис. 4 – Принтер для тривимірного друку

Полімерний принтер формує виріб пошарово з полімеру. А фіксація матеріалу відбувається під дією променів лазера.

У підсумку виходить задумана прикраса, яку можна в буквальному сенсі слова потримати в руках, повертати, щоб оцінити точність і гармонійність її виконання (рис. 5).



Рис. 5 – Прототипи, виконані на 3D-принтері

Прототип використовують для виготовлення гіпсової форми, необхідної для лиття золота або срібла. Процес виготовлення форми може тривати довго – гіпсу потрібно рівномірно засохнути. У форму заливають розплавлений сплав золота певної проби або срібла.

Отримана в результаті лиття заготовка обробляється ювеліром для усунення всіх недоліків і вдосконалення ювелірного виробу. Оброблена заготовка називається майстер-моделлю. Майстер-модель використовується для виготовлення «гумки» – це спеціальна еластична форма, що складається з двох половинок. «Гумка» необхідна для отримання воскових копій майстер - моделі ювелірного виробу. З воскової копії майстер-моделі знову виготовляється гіпсова форма, необхідна для лиття.

Наступний етап – виготовлення ювелірного виробу в матеріалі, і саме на цьому етапі можна оцінити результат роботи над виробом в цілому. Відлита з золота заготовка ювелірного виробу виглядає дуже грубо і часто зовсім складається тільки з елементів ювелірного виробу. Всі заготовки обробляє ювелір - монтувальник, у результаті його роботи виходить майже готовий відполірований ювелірний виріб без вставок.

Залишається закріпити камінь – це робить ювелір - закріпник. Завершальним етапом виготовлення ювелірного виробу є фінальне полірування і чищення. А далі залишаються формальності у вигляді контролю якості, пробірування і клеймування, ярлика і експертного висновку щодо ювелірного виробу [5].

Висновки. Вивчення роботи графічних редакторів бажано включити в навчальний процес, тому що навички 3D - моделювання незабаром будуть необхідними і невід’ємними в різних сферах людської діяльності.

Використання графічних редакторів у сфері інженерії є дуже перспективним. Адже це значно спрощує, полегшує працю, дозволяє робити кресленики точнішими, при цьому практично виключається можливість помилок, властивих ручній роботі. 3D - моделі відрізняються фотографічною точністю і дозволяють краще уявити собі, як буде виглядати проект, втілений в життя. 3D - модель зазвичай надає набагато більше враження, ніж всі інші способи презентації майбутнього проекту.

Бібліографічний список

1. http://galanet.at.ua/blog/grafichni_redaktori_ta_jikh_kharakteristiki/2009-12-14-79.
2. <http://vilant.com.ua/uk/blog/dragocennye-metall-blog/3d> – 104.
3. <https://jewelry3dms.wordpress.com>.
4. <https://uk.wikipedia.org/wiki/AutoCAD>.
5. <http://www.center-sapr.com/ua/products/?Product=21>.