

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Інженерно-фізичний факультет**

**Металознавства та термічної обробки**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Я.В. Зауличний

«\_\_»\_\_\_\_\_ 2019 р.

**Дипломна робота**

**на здобуття ступеня бакалавра**

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

**на тему: «Титаноалітовані покриття на сталі 12Х18Н10Т»**

Виконав :

студент ІV курсу, групи ФІ – 51/2

Рищук Антон Анатолійович \_\_\_\_\_

Керівник:

старший викладач к.т.н.

Аршук М. В. \_\_\_\_\_

Консультант: з розділу охорони праці:

зав. каф., д.т.н., професор,

Левченко О.Г. \_\_\_\_\_

з економічно-організаційного розділу

доцент, к.е.н., доцент

Нараєвський С.В. \_\_\_\_\_

Нормоконтроль:

доцент, к.т.н., доцент

Гриненко К.М. \_\_\_\_\_

Рецензент:

зав. каф., доцент, к.т.н.,

Іващенко Є. В. \_\_\_\_\_

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

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2019 року

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

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки – 6.050403 «Інженерне матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Я.В. Зауличний

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломну роботу студенту**

**Рищука Антона Анатолійовича**

1. Тема роботи Титаноалітовані покриття на сталі 12Х18Н10Т», керівник работ Аршук Мариа Віталіївна к.т.н., старший викладч затвержені наказом по університету від « 27 » травня 2019 р. №1408-с
2. Термін подання студентом роботи 15 червня 2019 р.
3. Вихідні дані до роботи аналіз літературних джерел та результати дослідження
4. Зміст роботи Літературний огляд, матеріали та методи дослідження, результати експерименту та їх обговорення, організаційно-економічна частина, охорона праці та економічна частина
5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) Мікроструктура , зміна твердості, рентгенограма

## 6. Консультанти розділів роботи\*

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

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

## Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний огляд	15.04.-19.04.2019р.	
2	Освоєння методики отримання зразків		
3	Освоєння мікроструктури на оптичному мікроскопі		
4	Проведення експерименту та визначення зміни фазового складу		
5	Розрахунок економічної частини		
6	Розрахунок питань охорони праці		
7	Оформлення пояснювальної записки		

Студент

А. А. Рищук

Керівник роботи

М. В. Аршук

## РЕФЕРАТ

**Дипломна робота:** 67 сторінка, 13 рисунків, 19 таблиць, 35 літературних джерел.

**Об'єкт роботи:** процес формування покриття на сталі 12X18H10T отриманого титаном і алюмінієм в середовищі хлору.

**Мета роботи:** утворення титаноалітованого покриття на сталі 12X18H10T.

**Методи дослідження:** рентгенофазовий, хімічний, мікроструктурний, мікротвердість.

Експериментально показано, що при 1050 °С впродовж 2 годин на сталі 12X18H10T формуються багат шарові дифузійні титаноалітовані покриття.

ПОКРИТТЯ, ТИТАН, АЛЮМІНІЙ, СКЛАД, ХІМІЧНИЙ,  
МІКРОСТРУКТУРА, МІКРОТВЕРДІСТЬ

## ABSTRACT

**Diploma work:** 67 pages, 13 figures, 19 tables, 35 referens.

**The object of research:** The process of formulating the phase, chemical warehouse, microstructure of the bugoshop diffuse coating on the 12H18N10T steel model by the method of at the same time incubation with titanium and alumina in the closed reactionary space in the middle chlorine.

**The purpose of work:** Of obtaining multilayer diffusional titanoalizing coating on steel 12H18N10T.

**Methods of research:** microstructural

Obecame a form of multilayered diffusion of titanium dioxide alloys and a titanium-alitizing TiN coating.

DIFFUSION SATURATION, TITANOALITIZING, PHASE STORAGE,  
CHEMICAL, MICROSTRUCTURE, MICROHARDNESS, BAT TITAN NITRIC,  
BARRIER BAT

## ЗМІСТ

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.1 Покриття на корозійностійких сталях .	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.2 Висновки до розділу 1 .....	11
МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ .....	20
2.1 Матеріали.....	20
2.2 Методика.....	20
2.3 Рентгенофазовий аналіз .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.4 Хімічний аналіз .....	21
2.5 Мікроструктура та мікротвердість.....	21
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА .....	22
3.1 Фазовий склад .....	22
3.1.1 Після титаноалітування .....	22
3.2 Хімічний склад .....	23
3.2.1 Після титаноалітування .....	23
3.3 Мікроструктура покриття .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.4 Мікротвердість покриття .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
4.1 Науково – технічна актуальність НДР.	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
4.2 Мета, завдання роботи .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
4.3 Розрахунок собівартості дослідження .	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
4.3.1 Фонд заробітної плати .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
4.3.2 Визначення єдиного соціально внеску.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
4.3.3 Витрати на матеріали .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
4.3.4 Витрати на спецобладнання .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
4.3.5 Витрати на службові відрядження.	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>

4.3.6 Інші прями невраховані витрати на НДР .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
4.3.7 Накладні витрати .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
4.3.8 Калькуляція .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
4.4 Економічна ефективність .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
5 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
5.1 Параметри приміщення .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
5.2 Мікроклімат .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
5.3 Освітленість .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
5.4 інфрачервоного випромінення .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
5.5 Шуму та вібрації .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
5.6 Забрудненості повітря .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
5.7 Інженерна думка .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
5.7.1 Вентиляція лабораторії .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
5.7.2 Захист від випромінювання .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
5.7.3 Електробезпека .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
5.8 Пожежна безпека .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
ВИСНОВКИ .....	29
CONCLUSIONS .....	30
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....	31

## ВСТУП

Основні умови до деталей машин сьогодення, інструментів, оснастки із сталей та твердих сплавів, що працюють в жорстких рамках дії високих виробничих швидкостей, контактних навантажень, агресивних середовищ, включають в себе опір при зносі, високу стійкість до тріщин, хімічну стабільність при високих температурах, високу стійкість при корозії тощо. Є не високим шанс того, що подібні за товщиною матеріали зможуть виконати вищезазначені вимоги. Зазначені властивості в змозі мати лише покриття, склади(деякі складові) сполук яких мають особливі функції [1]. Стає зрозумілим, що союз таких сполук в одному покритті і вироблення роботоздатної композиції «покриття – основа» зробить можливим вирішення задачі підвищення властивостей виробів в різних сферах застосування.

На сьогодні існує великий перелік методів творення захисних шарів: у різних середовищах. Дифузійні покриття, отримані хіміко-термічною обробкою, виділяються високою сукупністю властивостей, стабільністю результатів, високою адгезією з основою за рахунок поглибленого проникнення насичуючих елементів в саму основу, а елементів основи в покриття, на відміну від покриттів нанесених іншими методами.

На дослід була обрана сталь 12X18H10T аустенітного класу з міцністю, пластичністю та високою корозійною стійкістю, що, на разі, широко використовується в окремих галузях машинобудування. При підвищенні стійкості до зносу поверхневих шарів постає можливість отримати абсолютно новий матеріал з апгрейдом характеристик. А значить, з'являється нагода покращити властивості сталі 12X18H10T за рахунок формування на поверхні покриттів.



# РОЗДІЛ 1

## ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

### 1.1 Покриття на сталях

Для підвищення зносостійкості, твердості, жаростійкості, корозійної стійкості, кавітаційної стійкості, нержавіючих сталей феритного, аустенітного, мартенситного класів використовують різні методи хіміко-термічної обробки.

Силіціювання – процес дифузійного насичення поверхні сплавів і металів кремнієм з метою підвищення зносостійкості, твердості, жаростійкості, корозійної стійкості [2, 3]. Має обмежене промислове застосування із-за труднощів отримання безпористих шарів на поверхні з високим вмістом кремнію (> 11,0-13,0 %), які мають високу кислотостійкість. Силіцировані шари на хромонікелевих та хромистих сталях мають високу термостійкість, ніж на вуглецевих. Завдяки силіціюванню можливе поєднання у сталей високої зносостійкості і хімічної стійкості. Високолеговані сталі відповідають першій вимозі і не задовольняють останній. Зносостійкі матеріали не відрізняються корозійною стійкістю. Сталь при силіціюванні 12X18H9T підвищує свій супротив корозії у водному розчині  $\text{HNO}_3$ , міцність поверхневого шару до 6000 МПа з товщиною 0,09 мм, що дає можливість використовувати в умовах зносу та жаростійкості [2, 3].

Алітування – процес дифузійного насичення поверхні сплавів і металів алюмінієм з метою покращення ерозійної стійкості, корозійної і жаростійкості [2, 4].

Утворення багат шарового покриття при масуванні алюмінієм сталі 12X18H9T на підставі отриманих даних можна представити в такий спосіб [4]. Спочатку відбувається розчинення алюмінію до 1,0 % в аустеніті, з утворенням  $\alpha$ -твердого розчину на основі заліза. Дифузія заліза і алюмінію при насиченні має зустрічний характер, але, судячи зі швидкості переміщення реакційних границь по шарах, переважає дифузія хрому і заліза.

Комплексність обсліду покриттів з алюмінія, поєднаних зі сталлю 12X18H9T, збільшується з впливом домішкових неметалевих елементів. Вільна енергія утворення сполук алюмінію з азотом невелика, і за наявності в сталях комбінації домішок азоту може виникнути фаза дисперсії або тонкий шар нітриду назовні матеріалу. Це сприяє призупиненню дифузії елементів покриття в основу і навпаки.

За допомогою алітування отримується багат шарове покриття з широким фазовим складом, при залежності від умов і способу насичення. Залізо в невеликій мірі розкладається в алюмінії за 640-650 °C і менше 0,06 % має значний рівень розчинності в  $\alpha$ -залізі, розширюючи область існування, і замикає  $\gamma$ -залізо. В спектрі температур для отримання дифузійних покриттів, розчинність алюмінію в залізі при помірній температурі становить 32,0 %, а при 1230 °C – 35,0 % [5, 6].

Всі перераховані фази можуть утворюватись в застосовуваному температурному інтервалі 800-1200 °C з різних способах насичення (рідинний, парофазний, газовий). Фази  $Fe_2Al_5$ ,  $FeAl_3$  та  $FeAl_2$  мають високу крихкість, їхня мікротвердість при кімнатній температурі межується від 910 до 1150 кг/мм<sup>2</sup> [8]. З підвищенням вмісту заліза пластичність  $Fe_3Al$  і  $FeAl$  має тенденцію до зросту, мікротвердість відповідно 660 кг/мм<sup>2</sup> і 270 кг/мм<sup>2</sup>.

Алюміній із залізом утворює ряд твердих сполук або інтерметалідних розчинів на їх основі:  $Fe_2Al_5$ ;  $FeAl_3$ ;  $FeAl_2$ ;  $Fe_3Al$  і  $FeAl$ . Значення теплоти утворення цих сполук відрізняються один від одного і мають межі 6,1-6,7 ккал/г·атом [6-7].

Нікель в алюмінії має низьку розчинність, але цілком ймовірно утворення інтерметалідних сполучень  $Ni_2Al_3$ ,  $NiAl_3$  та організованої  $\alpha$ -фази  $NiAl$ . Порядок інтерметалідних сполук з алюмінієм утворює, разом з тим і хром  $Cr_2Al_{11}$ ,  $CrAl_7$ . Так, можливе отримання цілої палітри сполучень, при алітуванні сталі 12X18H9T. При сполуці  $FeAl$  існує невеликий шанс часткового заміщення атомів заліза хромом і нікелем, що робить більш складним дослідження фазової складової.

Робота [9] присвячена дослідженню структури та кінетики росту дифузійного шару на нержавіючої сталі після алітування при  $960\text{ }^{\circ}\text{C}$  протягом у п'ять годин. Показано, що зона дифузії має трьохшарову структуру. Світлий шар назовні, товщиною  $7,0\text{ мкм}$  з мікротвердістю  $4000\text{ МПа}$  є близькою до  $\text{FeAl}$ . Складова алюмінію становить  $33,0\%$  по масі. Цей шар з'являється у результаті поширення атомів алюмінію в ядро, а атоми заліза - до поверхні основи. Проміжний пласт  $50,0\text{ мкм}$  з мікротвердістю  $3200\text{ МПа}$  має дисперсну структуру, що має склад у двох фазах:  $\alpha$ -твердий розчин і включення  $\text{FeAl}$ -оксиду алюмінію. Алюмінію  $16,5\%$  по масі. Внутрішній шар  $33,0\text{ мкм}$  з мікротвердістю  $2470\text{ МПа}$  є  $\gamma$ -твердого розчин. Складова алюмінію дорівнює  $1,5\text{ мас.}\%$  (Рис. 1.1).

У суміші  $99\%\text{FeAl}+1\%\text{NH}_4\text{Cl}$  було визначено будову і властивості шарів сталі  $12\text{X}18\text{H}10\text{T}$  після алітування. При насиченні температура мала діпазон від  $850\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , з тривалістю від 1 до 6 годин [2, 4].

З допомогою рентгеноспектрального аналізу також маємо криві зміни концентрації алюмінію, основних елементів в дифузійній зоні після алітування при  $950\text{ }^{\circ}\text{C}$  через 5 годин (рис. 1.1).

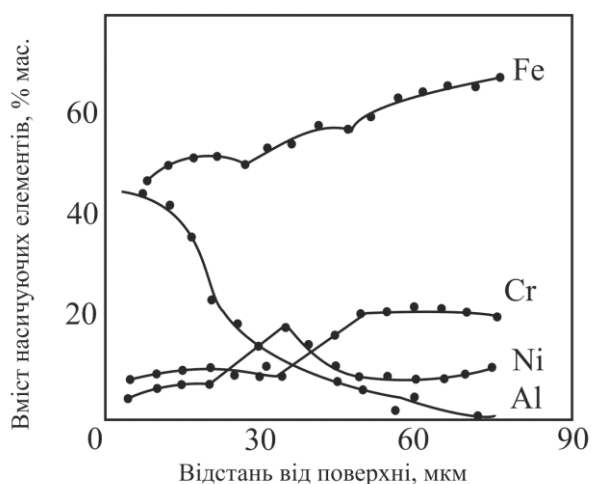


Рис. 1.1 – Розділення елементів в сталі  $12\text{X}18\text{H}10\text{T}$  по закінченні процесу

алітування з температурою 960 °С, впродовж 5 годин [8]

Процес виділення дисперсної фази FeAl з розчину при охолодженні сплаву. Результатом розподілу фаз відбувається перерозподіл концентрацій між хімічною сполукою FeAl [9] і твердим розчином.

При зниженні концентрації алюмінію при поступовому віддаленні від поверхні хром і хром у сталі 12X18H10T розчиняється швидше і досягає початкового значення з глибиною 95,0 мкм. Треба звернути увагу на те, що зміна концентрації нікелю, хрому і заліза в межах проміжного шару підкоряється залежності. На концентраційних кривих змога побачити екстремальні значення концентрацій даних елементів на глибині 35,0 мкм. Концентрація нікелю зростає до 18,0 % по масі порівняно з попереднім значенням – 10,0 % по масі, вразі чого зменшується хром і залізо до 50,0 % по масі і до 8,0 % по масі [9].

Під час дифузії алюмінію спостерігається значне переділення кількістю елементів в сталі 12X18H10T. Як результат, концентрація нікелю, заліза, хрому (рис. 1.1) на поверхні зразків стає меншою, ніж в першопочатковому стані. Біля зовнішнього шару складова частина Cr зменшується 7,0 %, Ni 4,0 %, а Fe 46,0 % по масі [9].

При отриманих результатах пошарової зміни концентрації елементів можна бачити, що зовнішній дифузійний шар не схожий до стехіометричному складу FeAl. Стає зрозумілим, що зовнішній шар це твердий розчин хрому і нікелю на основі зв'язку FeAl.

Витоки дослідів пошарової зміни складової частини алюмінію сталі 12X18H10T після процесу алітування за різними шкалами температур можна побачити на рис. 1.2.

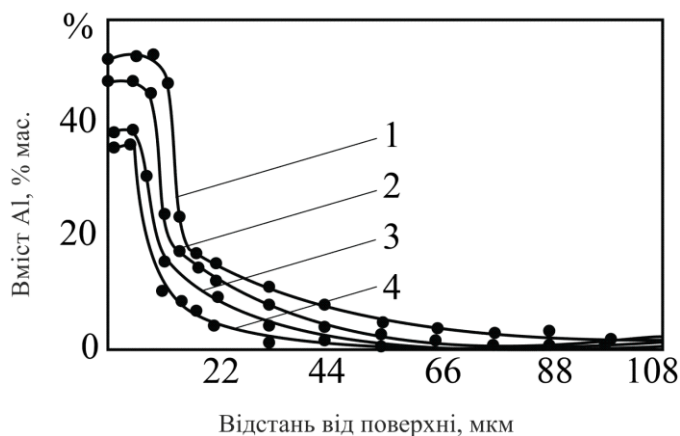


Рис. 1.2 –Алітування при: 1000 °С – (1), 960 °С – (2), 900 °С – (3), 850 °С – (4) [9]

Розподіл кількості є типовим явищем. В межах зовнішнього шару FeAl концентрація алюмінію залишається приблизно постійною, але вона, скачками знижується, коли відбувається перехід до проміжного шару і поступово зменшується по етапу наближення до внутрішніх зон. Концентрація алюмінію на поверхні збільшується із зростанням температури алітування. Температурна залежність зміни товщини проміжного і зовнішнього пластів для сталі 12Х18Н10Т після алітування залежить від експоненціального закону, а часова – параболічного [9]. Кінетику утовщення проміжного і зовнішнього дифузійних шарів після покриття алюмінієм сталі 12Х18Н10Т можна побачити на рис. 1.3 [9].

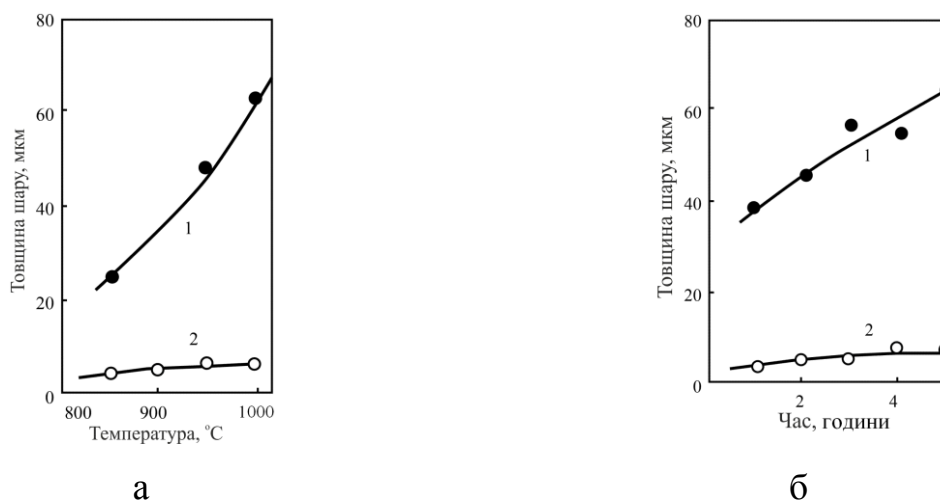


Рис. 1.3 –Властивості температури (а) та час (б) алітування сталі 12Х18Н10Т за 960 °С, під час 5 годин на глибину проміжного (1) і поверхневого(2) дифузійного шару [9]

Під час алітування піддаються деякі з'єднання конструкцій, виготовлені з даних сталей, відхилення коефіцієнта лінійного розширення. Дослідження розподілу коефіцієнту лінійного розширення сталі 12Х18Н9Т в межах температур 300-1000 °С під час нагріву зразків у вакуумі довели, що коефіцієнти лінійного розширення після алітування відміно від початкових відрізняються в незначній мірі.

Титанування використовують з метою підвищення жаростійкості, зносостійкості, корозійної і кавітаційної стійкості малого, середнього, високо вуглецевих нелегованих і легуваних сталей

Для титанування газовими методами використовують суміш з 76%Ті, 23%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> і 1%NH<sub>4</sub>Cl75 або суміш з 76%Ті, 21%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> і 5%NH<sub>4</sub>Cl [9]. Кількість шару, одержана цим методом за 1050 °С, Під час 16 годин має 0,12 мм на сталі 12Х18Н10Т. За результатами В.П. Шаповалова табл. 1.1.

Титанування піддається поверхням промислових реакторів, до 1,2 м і висотою до 2,8 м, з яких виготовляють губчатий титан магнієвим термічним процесом. Їх виготовляють із сталі 12Х18Н9, і часто вони слугують джерелом забруднення титанової губки залізом. Завдяки титанування реакторів на перших

циклах їх роботи дало змогу знизити кількість відходів і покращити чистоту титанової губки.

Алюмосиліціювання – процес одночасного або послідовного дифузійного насичення поверхні сплавів і металів кремнієм і алюмінієм. Використовують більш за все для покращення жаростійкості і майже ніколи для корозійної стійкості деталей (табл. 1.2) [2].

Автори [24] дослідили насичення алюмінієм сталі 12Х18Н9Т в пастах і суспензіях шлікерним способом. Підігрів забезпечується в пічній атмосфері. В склад насичуючої суміші входили: 85%Al+15%Si+зв'язуючі. Дослід виконували за такими методами: 1) 1051 °С, 30 хвилин (вміст шару 100,0 мкм); 2) 950 °С, під час 15 хвилин (вміст шару 35,0 мкм); 3) 1100 °С, під час 8 годин (вміст шару 155,0 мкм).

Результати термостійкості алюмосилізованих шарів на сталі 12Х18Н9Т поступається.

Боралізація є процесом насичення сплавів Al і В (табл. 1.3). Застосовують для підвищення зносостійкості та жаростійкості, інколи для корозійної стійкості [2]. Проводили в пастах і суспензіях шлікерним методом. Зображено наслідок впливу складу пасти, яка має аморфний бор і 2,0-10,0 % Al на глибину бороалітованого шару на дану сталь 12Х18Н9Т [11, 12]. Було встановлено, що зі збільшенням кількості алюмінію в пасті від 2,0 % до 10,0 % центральна зовнішня мікротвердість шару на сталі 12Х18Н9Т під час 1150 °С, впродовж 1 години зменшується від 18100 до 16000 МПа.

Титаноалітування – дифузійного насичення поверхні сплавів і металів Ti і Al. Застосовують для покращення корозійної стійкості? жаростійкості [2]. найкращій процес титаноалітування вуглецевих сталей досліджують при насиченні алюмотермічним методом. В праці [30] приведені результати дослідів на жаростійкість при 1000 °С шарів на сталі 12Х18Н9Т (табл. 1.4).

Хромотитанування – Ti і Cr (табл. 1.5). Використовують для окаліно-, корозійно-, [2]. Автори роботи [13] Дослідили, що при одночасному насиченні газовим методом титаном і хромом при 1100 °С, під час 10 годин в суміші

порошків, збільшується товщина шару на сталі 12X18H9T до 120,0 мкм з мікротвердістю 15000 МПа. Кількість хрому становить 55,0 % по масі. Поступове насичення є краще для отримання допустимих хромотитанованих шарів багатой товщини, чим під час насиченні одночасно. Спочатку проводять хромування при 1100 °С, впродовж 10 годин.

Боросиліціювання –поверхневих шарів металів і сплавів В і Si для підвищення, жаростійкості і корозійної стійкості [2].

Великий попит для дослідження представляє сталь аустенітного класу 12X18H10T з помірною в'язкістю, високою пластичністю і гарну корозійну стійкість, яка набула широкого поширення в різних галузях машинобудування. З підвищенням жаростійкості і зносостійкості поверхневих шарів дозволяє отримати новий матеріал з високими значеннями перерахованих вище властивостей 12X18H10T. Виходячі з чого, є можливо покращити деякі властивості сталі 12X18H10T під час одержання на її поверхні твердих, термостійких, антикорозійних і зносостійких покриттів.

Відомо, що титанові покриття володіють високою термостійкістю, яка може значно зрости через наявність бар'єрного шару. Роль бар'єрного шару полягає в придушенні процесу дифузійного перерозподілу елементів покриття і підстав. Використовуються шари на основі нікелю, бору і кремнію. Крім того, титанові покриття мають високу корозійну стійкість, зносостійкість.

Літературні дані, що стосуються способів отримання багатошарових дифузійних титанових сплавів з бар'єрним шаром карбїду титану, їх структури і властивостей носять обмежений характер. Карбїд титану практично не розчинний в аустеніте при високих температурах, має певну кількість термостійкості, високої твердості, корозійної стійкості. Можливо допустити, що наявність шару цього з'єднання в покритті буде збільшувати жаростійкість титанових сплавів за рахунок бар'єрних властивостей, а також зростання корозійної стійкості і зносостійкості. Можливе формування великих шарів дифузійного покриття на цій сталі 12X18H10T. Можливо передбачити, що безумовний попит проявляє покриття зі структурою, яка поєднує в собі високу



мікротвердість і зносостійкість карбідів, з досить високою термостійкістю і корозійну стійкість оксидів.

## **1.2 Висновки до розділу 1**

Дослідження фазового і хімічного складів, структури та властивостей багат шарових захисних дифузійних покриттів дозволить покриття нового покоління.

## МЕТОДИКА ТА МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Дослідженні матеріали

З ціллю одержання матеріалу з захищеним покриттям маштабного комплексу властивостей було обрано для досліду корозійностійку сталь аустенітного класу марки 12Х18Н10Т.

Сталь 12Х18Н10Т, яка використовується у жорських середовищах промисловсті, архітектури та у побуті. (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 –Сталь 12Х18Н10Т (ГОСТ 5632 – 72) [14]

аустенітний	0,12	18,0	10,0	0,7	71,18	гартування від 1050-1100 °С	520	40
-------------	------	------	------	-----	-------	--------------------------------	-----	----

З метою використовувалися зразки зі сталі 12Х18Н10Т форми циліндру діаметром 10 мм і висотою 0,5 мм. Спочатку нанесенням покриття зразки знежирювали в етиловому спирті.

### 2.2 Методи нанесення покриття

Покриття наносили методом дифузійної металізації на зразки зі сталі 12Х18Н10Т з порошків закритому реакційному просторі в контейнері з плавким затвором. За температурою 1050 °С, тривалість насичення 2 годин [15, 16].

Доцільні витрати вихідних реагентів виявляли експериментально з посиленням науково-технічної інформації роботи [16], також з даних по мікропористості покриття одержаного за температурою 1050 °С і часом процесу 2 години.

Дослідження результатів експеременту та літературних джерел дали змогу обрати кращі склади порошкових сумішей та температурно-часові режими для титаноалітування. Для титаноалітування використовували суміші порошків даного складу: 50 % Ті + 10 % АІ + 36 % АІ<sub>2</sub>О<sub>3</sub> + 4 % NH<sub>4</sub>СІ мас..

Процес насичення виконали в одному технологічному циклі без розгерметизації камери.

#### **2.4 Мікрорентгеноспектральний аналіз**

Мікрорентгеноспектральний аналіз застосовується для визначення розсташування хімічних елементів в сталях і сплавах, завдяки цьому залишається роздільна здатність порядку декількох мікрометрів [21, 22]. Завдяки цьому методу є можливість вирахувати хімічний склад мікрообластей на металографічному шліфі.

Досліди структури і виявлення хімічного складу покриттів досліджували на:

#### **2.5 Мікроструктурний та дюрOMETричний аналіз**

Задля досліду кінетики росту, виявлення товщини та мікротвердості даного покриття були задіяні методи мікроструктурного та дюрOMETричного аналізу.

Під час виробництва мікрошліфів, зразки встановлювались в струбцини з вставками леза або мідних пластин задля запобігання відшарування покриття від основи. Потім використовували грубе шліфування на абразивному кругу для покращення поверхні. Наступним кроком було шліфування зразків на наждачній бумазі з різними показниками зернистості при зміні паперу змінювали нахил повороту струбцини на 90°. Для полірування використовували фетрові круги змочені розчином оксиду хрому  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . [23].

В межах збільшень (50-1000) разів в темному та світлому полях. Зйомка структури здійснювалась вбудованою камерою, дані з якої переводились на ЕОМ і корегувались програмним забезпеченням «Размер 5.0».

Значення мікротвердості і товщини отриманих шарів проводили на приладі ПМТ-3, методом втискування алмазної чотирикутної піраміди з кутом при нахилі 136°, при навантаженнях 0,2 Н – 0,5 Н [25, 26].

Значення мікротвердості вираховували за формулами

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА**

### **3.1 Фазовий склад дифузійних покриття**

Комплексні багатошарові дифузійні титаноалітовані покриття включають в себе різний комплекс властивостей, які можна визначити фазовим, хімічним складом, структурою, яка з'явилась в процесі насичення. Досліди на фазовий, хімічний склад та структури дає можливість зробити певні твердження про зміни, що стали на зовнішній ділянці оброблених виробів і напевне в їх серцевині при хіміко-термічній обробці, а також про покращені властивості та області використання покриття [27, 28].

#### **3.1.1 Фази після титаноалітування**

В праці було виявлено фазовий склад сталі 12X18H10T по завершенню титаноалітування (рис. 3.1). Результати досліджень наведено на таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Фазовий склад та властивість сталі 12X18H10T по завершенню титаноалітування

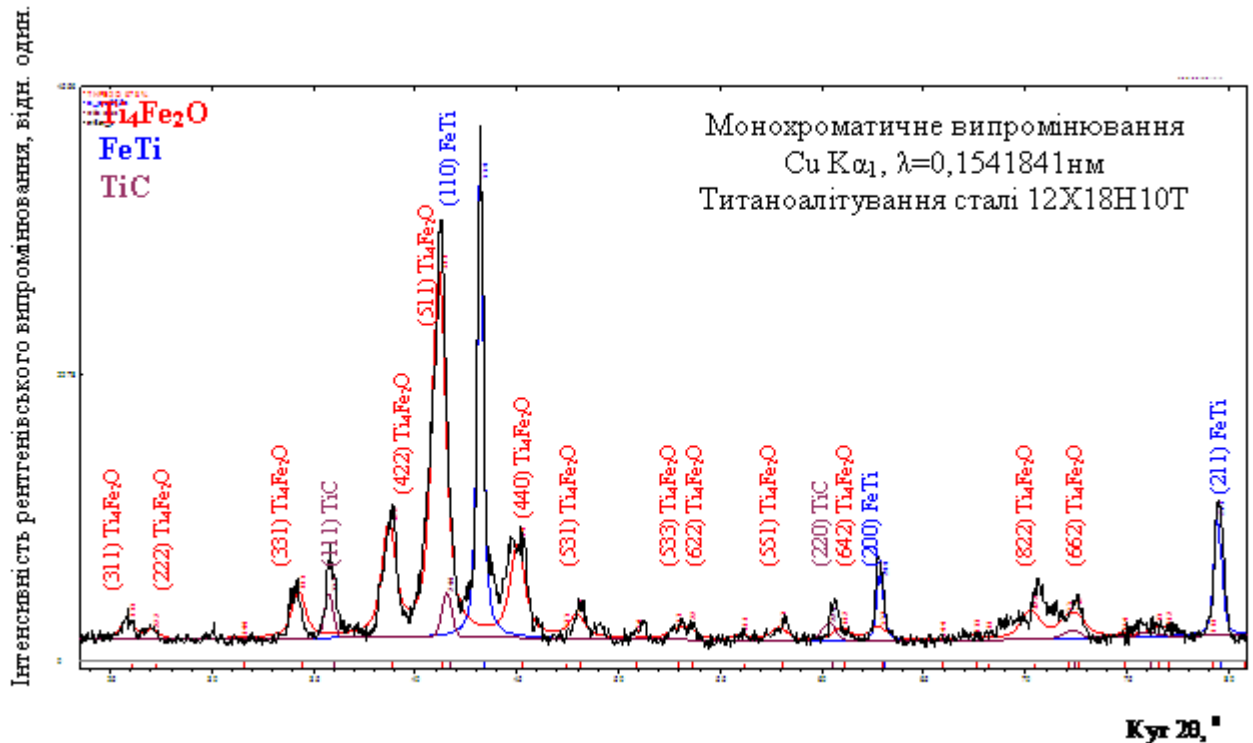


Рисунок 3.1 – Дифрактограма сталі 12X18H10T по завершенню титаноалітування; T = 1050 °C,  $\tau$  = 2 години

### 3.2 Хімічний аналіз

Експлуатаційні можливості отриманого покриття мають можливість залежати від фазового складу, також від зосередженого в них вуглецю, наповнюючих елементів та елементів основи. Відомості про розподіл елементів по товщині покриття дають змогу дати судження про процеси дифузії елементів в покритті, та мають досить цікавий науковий інтерес [29, 30]. В праці завдяки мікрорентгеноспектрального аналізу можливо вивчити хімічний склад покриття отриманого на сталі 12X18H10T.

#### 3.2.1 Після титаноалітування

Результатами для мікрорентгеноспектрального аналізу покриття на сталі 12X18H10T показані на рисунках 3.2 – 3.4. Отримані дані виявили, зростання

концентрації на поверхні насичуючих елементів: титану і алюмінію та перерозподіл елементів основи.

Аналіз хімічного складу титанованих шарів виявив значний вміст елементів основи – заліза, хрому та нікелю, а також алюмінію. Концентрація останнього досягає в центральних зонах покриття 5,2 % по масі Єдиним джерелом алюмінію в покритті при застосуванні даного способу хіміко-термічної обробки може бути сполука  $Al_2O_3$ . Оксид алюмінію  $Al_2O_3$  взаємодіє з хлором з утворенням хлоридів, які транспортують метал до поверхні сталі. Виділення алюмінію протікає вірогідніше за все за реакціями диспропорціювання. Участь алюмінію в формуванні покриттів при застосуванні порошкової технології з  $Al_2O_3$  відома з попередніх публікацій [8, 31] Слід відмітити присутність алюмінію в шарі  $TiC$  в кількості 0,1% – 0,2 % по масі, та перехідній зоні .

Утворений при хлоруванні сполуки  $Al_2O_3$  кисень приймає участь в формуванні покриття, а саме шару  $Ti_4Fe_2O$ . Останню сполуку довгий час вважали за інтерметалід  $FeTi_2$  [32, 33]. Сучасні дослідження діаграми стану  $Ti-Fe$  показали відсутність інтерметаліду  $FeTi_2$ , а дослідження діаграми  $Fe-Ti-O$  можливість утворення сполуки  $Ti_4Fe_2O$  [33] з ГЦК граткою.

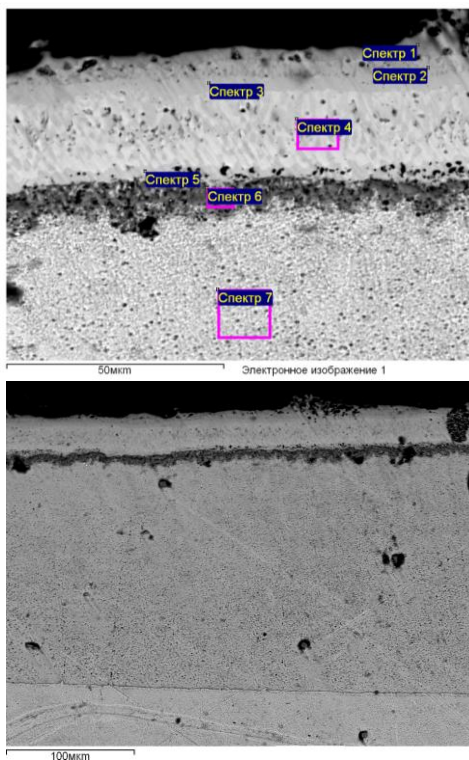
Значний перерозподіл в області покриття встановлено для нікелю, зосередження якого в зоні сполуках досягає 18,0-24,0 % по масі. В той же час хром відтісняється з поверхні. Концентрація хрому в зоні сполук не перевищує 3,0 % – 6,0 % по масі, а в перехідній зоні збільшується до 20,0 % – 23,0 % по масі.

Таким чином ідентифіковані за даними рентгеноструктурного аналізу фази можна за результатами хімічного аналізу дати у вигляді і.

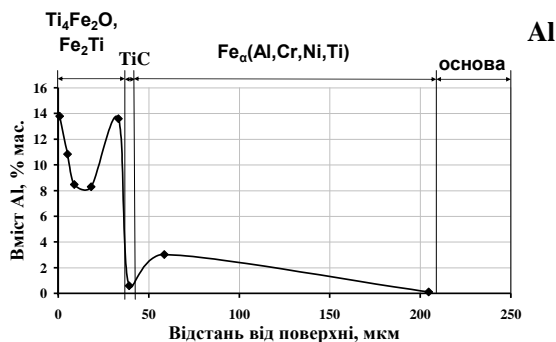
Зазначимо, що кількість титану в покритті по закінченню титаноалітування виявилась більшою ніж при титануванні тому досягає на поверхневій стороні покриття 75,1 % по масі за вмістом алюмінію 13,8 % по масі. Більш за все концентрацію титану виявили в зоні карбіду титану  $TiC$ . Визначити точне розподілення елементів в цих зонах внаслідок невеликої

товщини не вдалося. Потрібно відмітити, що концентрація алюмінію, що становить 0,6 % по масі в зоні карбиду титану, получилась все ж меншою чим в зоні сполук а також перехідній зоні.

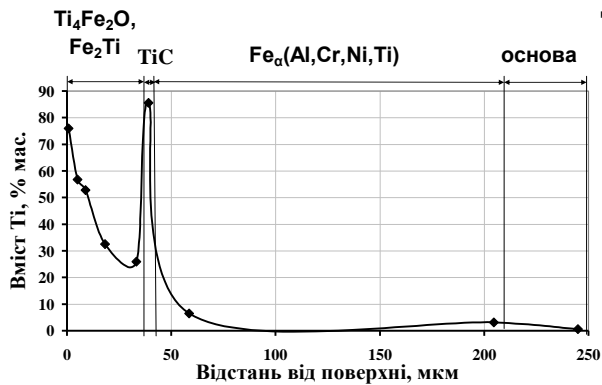
Збільшення терміну до зменшення максимального вмісту в зоні сполук Al та Ni від 13,8 до 9,1 % по масі та від 38,0 до 19,0 % по масі. В той же час зосередження алюмінію в перехідній зоні, як і товщина самої зони, стає більшою з терміном насичення.



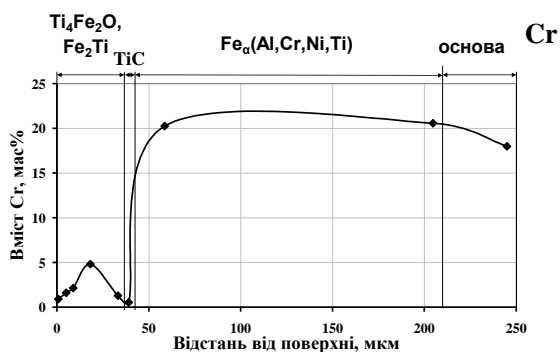
а



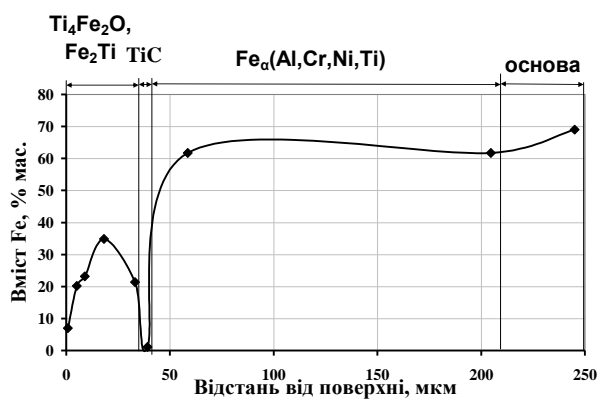
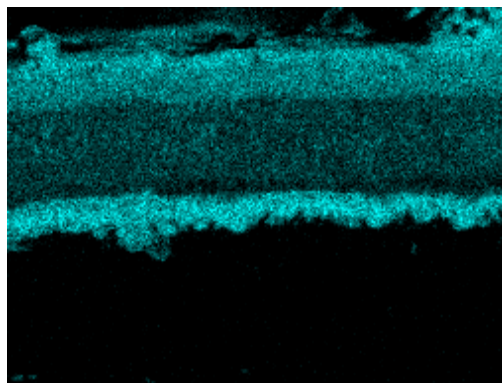
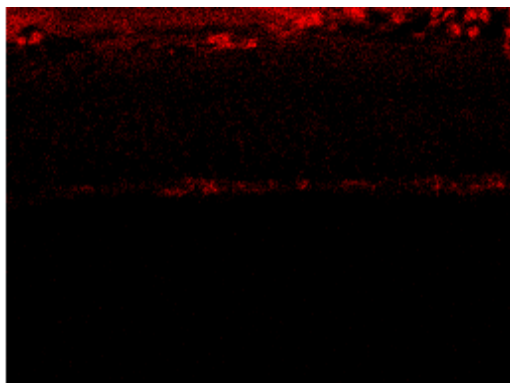
б



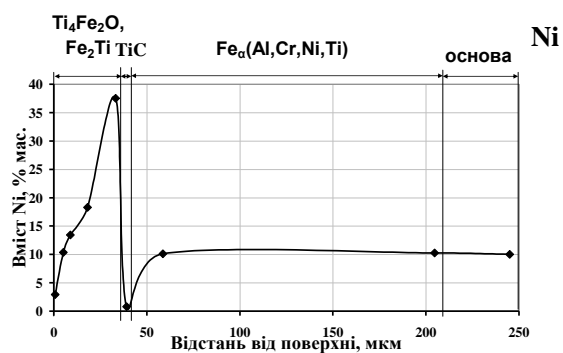
в



г



Fe



Ni

д

е

Рисунок 3.2 – Структура сталі 12Х18Н10Т; б – Al; в – Ti; г – Cr; д – Fe; е – Ni  
титаноалітування 1050 °С, 2 години



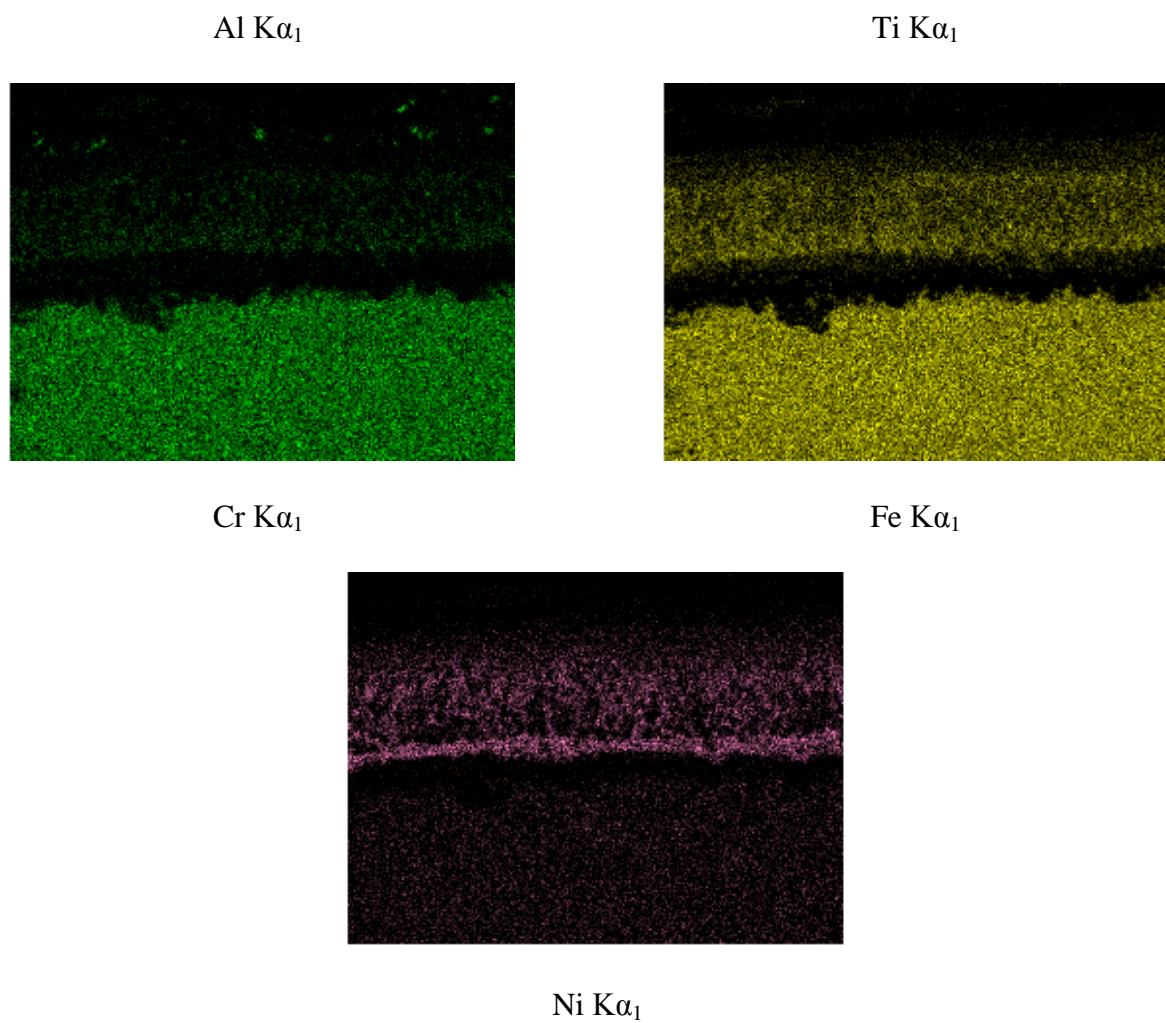


Рисунок 3.3 – Розподіл після титаноалітування 1050 °С, 2 години

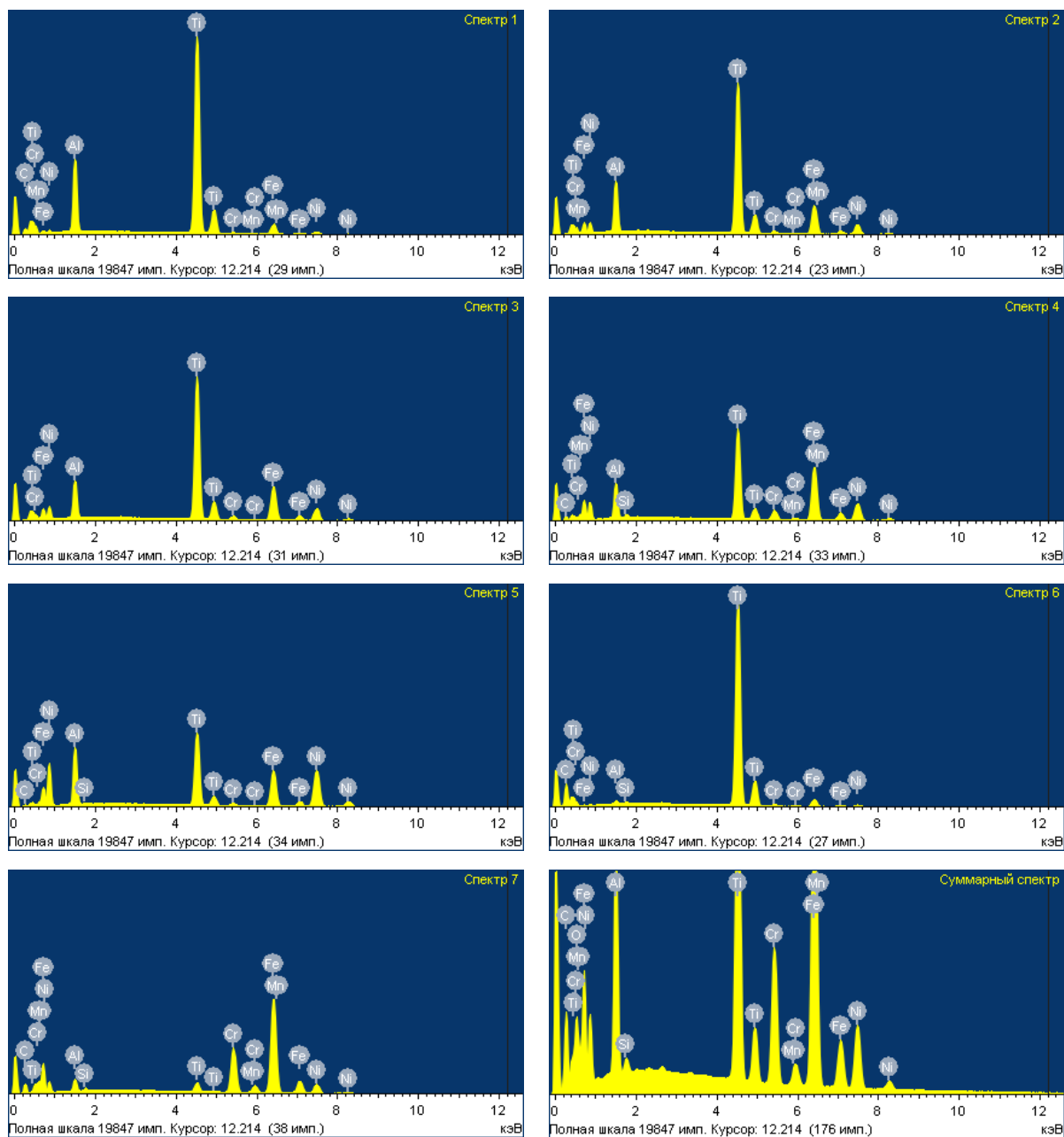


Рисунок 3.4 –криві після титаноалітування; 1050 °С, 2 години

## ВИСНОВКИ

1. В експерименті ми можемо побачити, при 1050 °C на протязі двох формуються багат шарове дифузійне титаноалітоване покриття наступного фазового складу: зона сполук,  $TiC$ ,  $Fe_{\alpha}(Al, Cr, Ni, Ti)$ .

2. Встановлені бар'єрні властивості шару карбиду титану  $TiC$ , який під час титаноалітуванні сталі 12X18H10T тормозить процес спільного дифузійного розподілу елементів на покриттях і основах

– при титаноалітуванні сталі з шаром  $TiC$  концентрація титану і алюмінію на зовнішній стороні покриття 20,0 % і 8,5 % по масі.

## CONCLUSIONS

1. It was experimentally shown that at 1050 ° C for 2 hours, 12H18N10T steel is produced by multilayered diffusion titanium alloys with a barrier layer of titanium titanium carbide of the following phase composition:.
2. Barrier properties of the titanium carbide layer TiC are established, which during the titanium alloy steel 12X18H10T inhibits the process of mutual diffusion redistribution of coating and base elements
  - for titanium alloy steel with a TiC layer, the concentration of titanium and aluminum on the outer side of the coating is 20.0% and 8.5% by weight.

## СПИСОК

1. Ляхович Л.С. Многокомпонентные диффузионные покрытия / Л.С. Ляхович, Л.Г. Ворошнин, Г.Г. Панич, Э.Д. Щербаков. – Минск: Наука и техника, 1974. – 286 с.
2. Илющенко Н.Г. Жаростойкие и теплостойкие покрытия / Н.Г. Илющенко, А.И. Анфиногенов, Г.И. Беляева – Л.: Наука, 1969. – с. 105.
3. Сидорина И.И. Основы материаловедения / Учебник для вузов под ред. И.И. Сидорина. – М.: Машиностроение, 1976. – 436 с.
4. Пат. 30450 Україна, МПК С23С 12/00. Реакційна камера для нанесення дифузійних покриттів / Лоскутова Т.В., Бобіна М.М., Хижняк В.Г., Погребова І.С., Бобін А.Б., Дегула А.І., Згурський Т.М.; заявник і власник НТУУ«КПІ». – № U200712422; заявл. 08.11.07; опубл. 25.02.08, Бюл. № 4
5. Лоскутов В.Ф. Диффузионные карбидные покрытия / В.Ф. Лоскутов, В.Г. Хижняк, Ю.А. Куницкий, М.В. Киндрачук. – К.: Техника, 1991. – 168 с.
6. Рентгеноструктурный контроль машиностроительных материалов / Справочник под ред. Л.И. Миркина. – М.: Машиностроение, 1979. – 134 с.
7. Горелик С.С. Рентгенографический и электроннооптический анализ / С.С. Горелик, Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А. – М.: Металлургия, 1970. – 366 с.
8. Металловедение и термическая обработка стали. / Справочник в 3-х томах. Том 1 – Методы испытаний и исследования. Под ред. М.Л. Бернштейна, А.Г. Рахштадта. – М.: Металлургия, 1983. – 352 с.
9. Горелик С.С. Рентгенографический и электроннооптический анализ: / учебное пособие для студентов вузов по напр.

- “Материаловед. и технология новых материалов”/ Горелик С.С., Ю.А. Скаков, Л.Н. Расторгуев. – М.: МИСИС, 1994. – 328 с.
10. Вейнберг Ф. Приборы и методы физического металловедения: Выпуск 2 / Ф. Вейнберг, перевод с англ. В.Н.Колесникова. – М.: Мир, 1974. – 367 с.
  11. Goldstein J.I. Scanning Electron Microscopy and X – Ray Microanalysis / J.I. Goldstein, D.E. Newbury and others. – New-York and London: Second edition. Plenum press. – 1992. – 820 p.
  12. Геллер Ю.А. Материаловедение (методы анализа, лабораторные работы и задачи) / Ю.А. Геллер, А.Г. Рахштадт. – М.: Metallurgia, 1975. – 447 с.
  13. Баранова Л.В. Металлографическое травление металлов и сплавов / Л.В. Баранова, Э.Л. Демина Справочник. – М.: Metallurgia, 1986. – 256 с.
  14. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников: ГОСТ 9450-76. – [Чинний від 1976-01-09]. – М.: ИПК издательство стандартов, 1976. 33 с. (Государственный стандарт ССР).
  15. Глазов В.М. Микротвердость металлов и полупроводников / В.М. Глазов, В.Н. Вигдорович – М.: Metallurgia, 1969. – 248 с.
  16. Технологические основы управления качеством машин / А.С. Васильев, А.М. Дальский, С.А. Клименко [и др.] – М.:Машиностроение, 2003. – 256 с.
  17. Завалищин А.Н. Получение покрытий из переходных металлов в процессе поверхностной деформации / А.Н. Завалищин // МиТОМ. № 2. – Москва 2004. – с. 34 – 36.
  18. Криштал М.А. Механизм диффузии в железных сплавах / М.А. Криштал. – М.: Metallurgia, 1972. – 400 с.
  19. Мельник П.И. Диффузионное насыщение железа и твердофазные превращения в сплавах / П.И. Мельник. – М.:Metallurgia, 1993. – с.129.

20. Formation and oxidation performance of low-temperature pack aluminide coatings on ferritic-martensitic steels / B.L. Bates, Y.Q. Wang, Y. Zhang, B.A. Pint. – Surface & Coatings Technology. – 2009. – Vol.204. – P. 766 – 770.
21. Лахтин Ю.М. Теория и технология азотирования. / Ю.М. Лахтин, Я.Д. Коган, Г.И. Шпис – М.: Металлургия, 1991. – 319 с.
22. Симонов В.Н. Одностадийный процесс хромоалитирования лопаток газовых турбин циркуляционным способом / В.Н. Симонов, Ю.П. Шкретов, М.В. Унчикова // Металловедение и термическая обработка металлов – 2009. – 10 (652) – С. 43 – 46.
23. Криштал М.А. Механизм диффузии в железных сплавах / М.А. Криштал. – М.: Металлургия, 1972. – 400.
24. Основы материаловедения / Учебник для вузов под ред. И.И. Сидорина / М.: Машиностроение, 1976. – 436.