Форма № 24

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-фізичний
(повне найменування інституту, назва факультету)

Фізичного матеріалознавства
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістр.
(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему Вплив текстурованості покриття нітриду титану на його характеристики при нанесенні на лопатки типового сплаву ВТ8

Виконав: студент 6 курсу, групи ФР-213М
спеціальності (напряму підготовки)
132 Матеріалознавство
(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Пилипик О.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник Степанова Л.П.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Сніжкой В.Л.
(прізвище та ініціали)

м.Запоріжжя
2018 рік

Форма № 25

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Інженерно-фізичний

Кафедра Фізичного матеріалознавства.

Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) Магістр.

Спеціальність 132 Матеріалознавство

(код і назва)

Напрям підготовки Прикладне матеріалознавство

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ФМ

Климов О.В.

"13" 12 2018 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Писник Олександр Віталійович.

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Вплив текстурованості покриття нітриду титану на його характеристики при нанесенні на лопатки титанового сплаву ВТ8

керівник проекту (роботи) Степанова Любов Петрівна,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "18" 10 2018 року № 218

2. Строк подання студентом проекту (роботи)

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Дифрактограми зразків; результати мікротвердості; мікроструктура сплаву; ескіз виробу.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Літературний огляд. 2. Матеріал та методика дослідження 3. Аналіз результатів дослідження 4. Економічний розділ. 5. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

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

1. Характеристика матеріалу ВТ8 2. Типова схема нанесення покриття. 3. Мікроструктура сплаву ВТ8 після різних варіантів зміцнення. 4. Рентгеноструктурний фазовий аналіз. 5. Оцінка текстури в α-фазі та покритті Ti N 6. Результати дослідження мікротвердості та періоду елементарної комірки α-фази.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-3	Степанова Л. П.	[signature]	[signature]
Економ. р.	Кругліікова В-В к.е.н. доцент	[signature] 24.09.18	[signature] 10.12.18
Охорона праці	Нестеро О.В. ст.н. доц.	[signature]	[signature]
Н.контроль	Климов О.В., к.т.н. доцент	[signature]	[signature]

7. Дата видачі завдання 15.09.2018

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Літературний огляд.	24.09.2018	
2.	Матеріал та методика дослідження	16.10.2018	
3	Аналіз результатів досліджень.	30.10.2018	
4	Економічний розділ.	22.11.2018	
5	Охорона праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях	28.11.2018	

Студент _____ Пишняк О.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) [signature] Степанова Л.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 71с., 17 рис., 16 табл., 20 джерел.

Об’єкт дослідження – покриття нітриду титана на лопатки компресора з титанового сплаву ВТ8.

Задача роботи – дослідити вплив зміцнювальної обробки та нанесення покриття на формування текстури в поверхневому шарі α-фази та покриття TiN.

Методи дослідження – дослідження поверхневого шару лопатки з покриттям і без покриття за допомогою рентгеноструктурного аналізу; провести вивчення мікроструктури після різних варіантів зміцнення за допомогою оптичного мікроскопу; дослідити мікротвердість після різних варіантів зміцнення, отриману за допомогою твердоміра, провести її аналіз.

ПОКРИТТЯ, ЛОПАТКА, КІБ, РЕНТГЕНОСТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ, ВТ8, ТЕКСТУРА, TIN,МІКРОТВЕРДІСТЬ, МІКРОСТРУКТУРА ЗМІЦНЕННЯ, ДИФРАКТОМЕТР, ДРОН.

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.

1.1 Жароміцний титановий сплав ВТ8…….

1.2 Технологія виготовлення лопаток компресора зі сплаву ВТ8…….

1.3 Аналіз умов роботи лопаток та вимоги до їх властивостей…….

1.4 Фізична сутність нанесення покриття TiN та мета його використання..

1.5 Роль покриттів в підвищенні експлуатаційних характеристик лопаток..

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.

2.1 Принципова схема та устрій установки для нанесення покриття TiN..

2.2 Мікроскопічний аналіз і вимір мікротвердості……

2.3 Методика дослідження текстури рентгеноструктурним методом……

2.4 Визначення параметрів елементарної комірки α-фази……...

2.5 Сутність процесу ультразвукового зміцнення…….

РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.

3.1 Аналіз фазових перетворені в діаграмі стану Ti-N……

3.2 Вивчення мікроструктури…….

3.3 Дослідження фазового складу поверхневого шару лопатки с нанесеним покриттям……

3.4 Аналіз формування текстури в поверхневому шарі лопатки……

3.5 Дослідження впливу азоту на періоди елементарної ГЩП комірки α-фази …….

3.6 Аналіз даних виміру мікротвердості……

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.

ВИСНОВКИ.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ГТД – газотурбінний двигун.

ВП – віброполікування.

УЗЗ – ультразвукове зміцнення.

КІБ (метод) – конденсація у вакуумі на поверхні деталі речовини із газометалевої плазми із іонним бомбардуванням.

ВСТУП

В різних галузях промисловості, зокрема в машинобудівній та авіаційній спостерігається тенденція до постійного збільшення експлуатаційних характеристик (міцність, твердість, зносостійкість і тд.) матеріалів. Що досягається за рахунок створення нових матеріалів, їх удосконаленням, що в свою чергу призводить до ускладнення їх обробки та виготовлення [1].

Газотурбінний двигун (ГТД) – це двигун, в якому енергія згоряння палива перетворюється в механічну роботу на валу турбіни або в кінетичну енергію реактивного струменя газів, якийв свою чергу, працює у важконавантежених умовах,засмоктує повітря з атмосфери, стискає його в компресорі в кілька разів. Частина високотемпературного газового потоку, що має високий тиск,використовується для обертання турбіни, яка в свою чергу приводить в рух компресор. Решта потоку використовується для створення реактивного струменя в турбореактивних двигунах або обертання приводного валу в турбогвинтових двигунах [2].

Основними складовими сучасного ГТД є: компресор, камера згорання та турбіна. В процесі експлуатації елементі ГТД можуть зустрічатися такі пошкодження та дефекти, як: конструктивні, експлуатаційні та технологічного характеру.

Конструктивні дефекти виникають через невдалий вибору конструкції або матеріалу, а також внаслідок помилок при проектуванні ГТД та його окремих вузлів. Технологічні дефекти виникають при відхиленнях від технології виготовлення та складання вузлів ГТД (це відхилення розмірів, непередбачена заміна матеріалу, порушення режимів термічної обробки, невідповідна якість поверхневої обробки деталей, порушення центрування при складанні і ін.). Експлуатаційні дефекти виникають у випадку експлуатації із перевищенням ресурсу, при перевищенні встановлених робочих параметрів, при недотриманні строків заміни вузлів та деталей, які відпрацювали свій

ресурс, використання некондиційного палива та мастила, робота на забрудненому повітрі і ін.

В компресорі ГТД відбувається стиснення повітря перед подальшим його потраплянням у камеру згорання. Через наявність в атмосфері повітря абразивних часток пилу, піску та ін., що чинять ерозійний вплив, відбувається пошкодження поверхневого шару лопатки. А як відомо, з літературних джерел, від поверхневого шару лопатки залежить їх несівна здатність. Найбільша кількість відмов компресорів пов’язана з пошкодженням лопаток як робочих, так і напрямних.

І тому актуальною проблемою є підвищення як несівної здатності лопаток так і підвищення її ресурсу, що в свою чергу, досягається комплексною обробкою –віброполіруванням (ВП), ультразвуковим зміцненням(УЗЗ), нанесенням різного роду покриттів.

РОЗДІЛ 1
ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Жароміцний титановий сплав ВТ8.

Аналіз хімічного складу сплавів та їх властивостей дозволяє стверджувати, що показники механічних і службових характеристик даної групи сплавів можуть бути істотно підвищені методами оптимізації складів і модифікуванням у процесі їх отримання.

Хімічний склад титанового сплаву представлено в табл. 1.1

Таблиця 1.1- Хімічний склад титанового сплаву ВТ8, % мас.

Матеріал	Хімічний елемент,%								
	Fe	C	Si	Mo	N	Ti	Al	Zr	O
ВТ8	до 0,3	до 0,1	0,2 - 0,4	2,8 - 3,8	до 0,05	87 - 90	5,8 - 7	до 0,5	до 0,15

Як відомо, титанові сплави володіють високою питомою міцністю та корозійною стійкістю при температурах до 550 – 600 ^{o}C, що зробило титанові сплави основним матеріалом для виготовлення деталей компресорів ГТД, які володіють задовільними механічними властивостями (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Механічні властивості титанового сплаву ВТ8 при кімнатній температурі.

Поставка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	Δ	Ψ	KCU	Термообробка
	МПа		%		кДж/м^2	
Пруток, ГОСТ 26492-85	930 - 980	-	6 - 8	15 - 20	200 - 300	Відпал
Пруток, підвищен. якості, ГОСТ 26492-85	930 - 1230	-	7 - 9	19 - 30	300	Відпал

Сплав ВТ8 легований алюмінієм, молібденом, цирконієм, кремнієм. Алюміній відноситься до найбільш поширених легувальних елементів в титанових сплавах. Перевага алюмінію перед іншими легуючими елементами обумовлена:

а) алюміній широко поширений в природі, доступний і дешевий матеріал;

б) питома вага алюмінію значно менше питомій вазі титану, тому алюміній підвищує міцність при підвищенні температури;

в) зі збільшенням вмісту алюмінію підвищується жароміцність і опір повзучості сплавів титану;

г) алюміній підвищує модулі пружності;

д) зі збільшенням вмісту алюмінію в сплавах зменшується їх схильність до водневої крихкості.

е) сприяє підвищенню окалиностійкості.

Мо є тугоплавким елементов, в наслідок малої дифузійної рухливості Мо підвищую жароміцність сплаву. Zr– підвищує жароміцність та створює додаткове зміцнення за рахунок збільшення розчинення β-стабілізаторів.Кремініій (Si) – утворює дисперсні силіциди, що теж підвищує міцність сплаву.

Титановий сплав ВТ8 відноситься до деформованих титанових сплавів, які використовуються для виготовлення деталей ГТД (диски, лопатки компресорів низького тиску, деталей кріплення вентиляторів) з максимальною робочою температурою до 480 ^{o}C. За структурою даний сплав відносить до α+β мартенситного класу.

Термічна обробка титанового сплаву ВТ8 полягає в тому, що його піддають ізотермічному відпалу, який являє собою нагрів при 920 – 950 ^{o}C з подальшим охолодженням на повітрі до 590 +-10 ^{o}C , витримку при цій температурі в продовж 1 год. Та подальше охолодження на повітрі. Така т/о забезпечую найбільшу терміну стабільність. Для подальшого зміцнення сплаву ВТ8 його гартують при температурі 920 – 940 ^{o}C з подальшим процесом старіння, який проводиться при температурі 500 - 600°C в продовж 1 – 6 годин.

Після гартування з вказаних температур структура сплаву складається з наступних фаз: α, β та α′′. Розпад β та α′′- фаз при старінні сприяє його зміцненню. Гартування та старіння сплаву ВТ8 сприяє не тільки підвищенню міцності,але і підвищенню жаростійкості, принаймні, до 450 ^{o}C. Сплав добре деформується в гарячому стані, а ось щодо зварюваності то вона погана[3].

Титан володіє низькою теплопровідністю, яка в 13 разів менша за теплопровідність алюмінію і в 4 рази менша за теплопровідність заліза. Коефіцієнт температурного лінійного розширення титану при кімнатній температурі вельми малий, з підвищенням температури він підвищується. Ковані та пресовані прутки технічно чистого титану мають великий розкид значень ТКЛР: від 6,5*10^{-6} до 10,5*10^{-6} 1/град для інтервалу температур 20-120 ^{o}C. Цей розкид пов’язаний з великою анізотропією ТКЛР титану: у напрямку осей «а» та «с» гратка α-титану який становить 5,6*10^{-6} та 9,5*10^{-6} 1/град відповідно. Тому для отримання задовільних значень ТКЛР в умовах виробництва напівфабрикатів повинні задовольняти стабільність текстури в прутках або повну її відсутність.

Розглянемо корозійну стійкість титану. Титан в багатьох агресивних середовищах володіє високим корозійним опором, в багатьох випадках перевищує корозійну стійкість нержавіючих сталей, що пояснюється появою на поверхневому шарі захисної щільної оксидної плівки.

1.2 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛОПАТОК КОМПРЕСОРА ЗІ СПЛАВУ ВТ8.

Під час виготовлення лопаток сплави піддаються ряду термомеханічних обробок, які спрямовані на придання матеріалу необхідної форми та механічних характеристик. Усі ці операції впливають на структуру матеріалу тим самим можуть її як зберігати так і змінювати. Тому доцільним є прослідкувати за структурними змінами матеріалу на різноманітних стадіях виготовлення лопаток компресора.

Робочі, напрямні та соплові (нерухомі) лопатки ГТД (рис. 1.1) можуть бути суцільними, с каналами для охолодження та пустотілими. В залежності від призначення та умов роботи лопатки ГТД можуть виготовлятися гарячим штампуванням, пресуванням, прокаткою, вальцюванням із заготовок, отриманих метод спрямованої кристалізації або монокристалізації металу при литті, методами зварювання або пайки, а також з використанням композитних матеріалів.

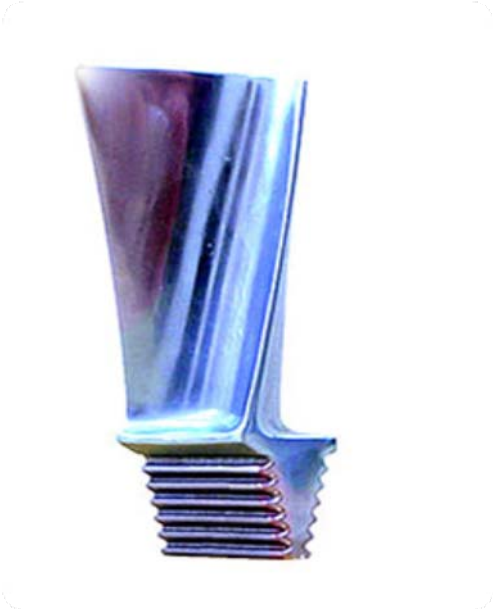


Рисунок 1.1 – Лопатка газотурбінного двигуна.

Лопатки ротора компресора є відповідальними елементами ГТД. Від якості роботи компресора залежить надійність і економічність всього виробу. Обертання компресора виконується від різних ступенів турбіни ГТД. Так, обертання роторів низького і середнього тиску ГТДздійснюється від 2 і 3 ступені турбіни.

Робочі лопатки компресорів відчувають значні осьові і радіальні навантаження. Профільна частина - перо - крім розтягування від відцентрових сил, вигину і крутіння відчуває знакозмінні напруження від вібраційних навантажень. При зльоті і крейсерському режимі літального апарату температурний режим в компресорі змінюється. Ці зміни проявляються у всіх

щаблях компресора. так, перший ступінь компресора, що має великогабаритні лопатки, випробовують зміни температурного режиму від +50 до - 50°C.

Способи отримання вихідних заготовок для таких деталей і використання традиційних і спеціальних методів при подальшій обробці визначають вихідні якісні та економічні показники виробництва.

На сьогоднішній момент на підприємствах використовують технологію виготовлення лопаток компресорів з жароміцних прутків титанового сплаву шляхом екструзії циліндричних заготовок в формо відтворювальну матрицю (штампування), калібрування та вальцювання.

Вихідні заготовки лопаток першого ступеня компресора отримують методом штампування. При цьому можуть бути отримані заготовки підвищеної точності, з малими припусками на механічну обробку.

Штампування невисокої точності (в межах ІТ-15, ІТ-16, ЛТ-8, ЛТ-9) збільшують припуски і напуски і вимагають значної кількості операцій для подальшої механічної обробки. Вибір способу отримання вихідної заготовки і відповідного технологічного процесу механічної обробки може бути обґрунтований якісними і економічними показниками виробництва.

При використанні вихідних заготовок невисокої точності потрібне введення спеціальних технологічних прибутків для надійного і точного орієнтування заготовок в технологічних системах на етапі чорнової обробки. Крім того, з метою зменшення викривлення заготовок в процесі механічної обробки необхідні спеціальні прийоми по орієнтуванню заготовок в технологічних системах і використовувати термічні стабілізуючі операції.

Нижче розглянуто технологічний процес виготовлення лопаток першого ступеня компресора, вихідна заготовка якої, отримана методом гарячого штампування звичайної точності. При створенні такої заготовки були визначені шляхи, які зменшують трудомісткість виготовлення і виконання перерахованих показників якості лопаток першого ступеня компресора.

Згідно технології виготовлення лопаток з титанового сплаву прутки розміщують у піч і нагрівають до температури 920 ^{o}C, а потім завдяки процесу

штампування отримують заготівки, форма яких наближається до форми лопатки.

Для виявлення кристалографічної текстури, яка формується на поверхні заготовки (лопатки) в процесі її виготовлення, з неї вирізались фрагменти і піддавалися вивченню. Звичайні полюсні фігури характеризуючи орієнтацію базисних{001} і пірамідальних{101} кристалографічних площин наведені на рис. 1.2зрисунку можна побачити, що текстура є багатокомпонентною і зміщена по нормалі до поверхні.

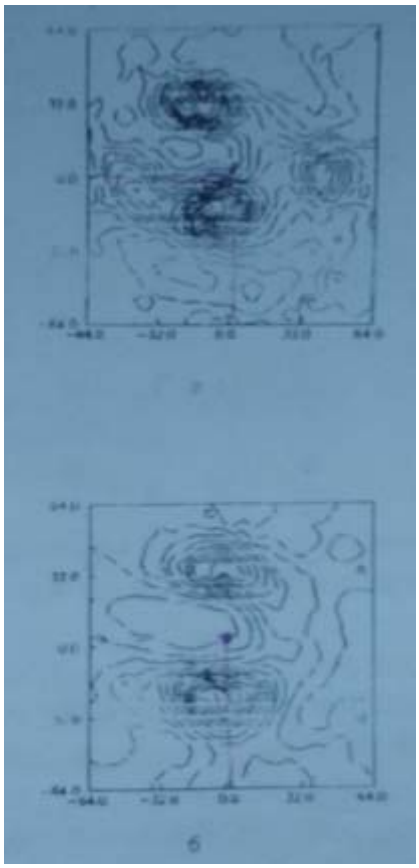


Рисунок 1.2 Розподіл полюсних згущень {001} (а) та {101} (б) в поверхневому шарі заготовки після штампування.

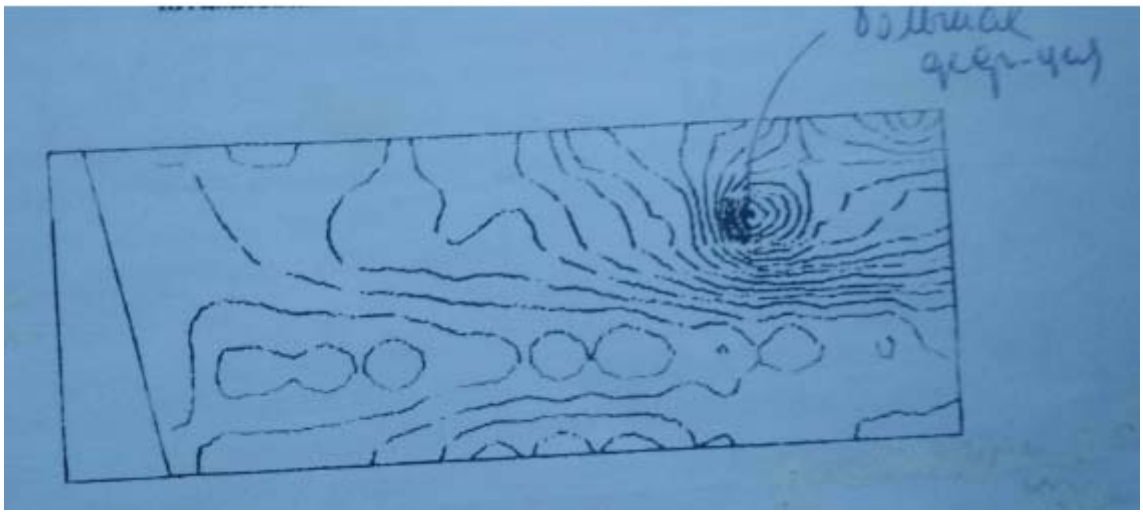


Рисунок 1.3 – Схематичний вигляд рівнів однакових значень γ по поверхні заготовки.

З рисунку 1.3 можна бачити, що текстура на різноманітних ділянках поверхні заготовки після штампування є відносно однорідною, що в свою чергу свідчить про те, що в процесі штампування пластична деформація на великих ділянках відбувається на однакову величину.

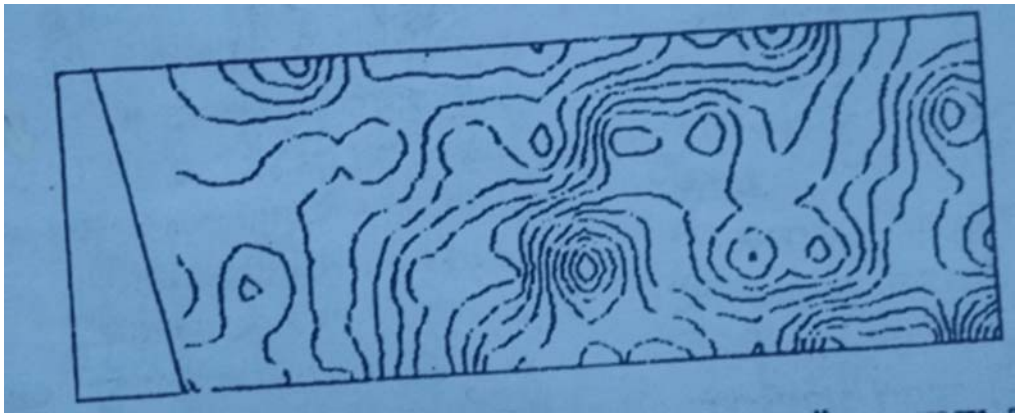


Рисунок 1.4 - Схематичний вигляд рівнів однакових значень γ по поверхні лопатки після першого вальцювання.

Отримані штампуванням заготовки в подальшому піддаються холодній пластичній деформації (вальцюванню) в два етапи для надання їм необхідної форми і розмірів (профілю). На рис. 1.4наведено рівні відношення компонент текстури після першого проходу. З рисунку видно, що вальцювання викликає зміни у компонент текстури. Це відношення збільшується по абсолютній

величині, а саме залежність становиться суттєво неоднорідною, особливо поблизу вхідної кромки лопатки.

Для виявлення причин зміни відношення компонент текстури {001} і {101} відносно нормалі до поверхні лопатки, які пройшли повний цикл термомеханічної обробки, розрізались на окремі фрагменти, котрі піддавались в подальшому текстурному вивченню (рис.1.5). Для компоненти {001} характерним є те, що після вальцювання завжди присутній максимум щільності, співпадаючий з нормаллю до поверхні лопатки, хоча і існують зерна, в яких плоскість {001}зміщена від поверхні, про говорить розмитнення текстури.

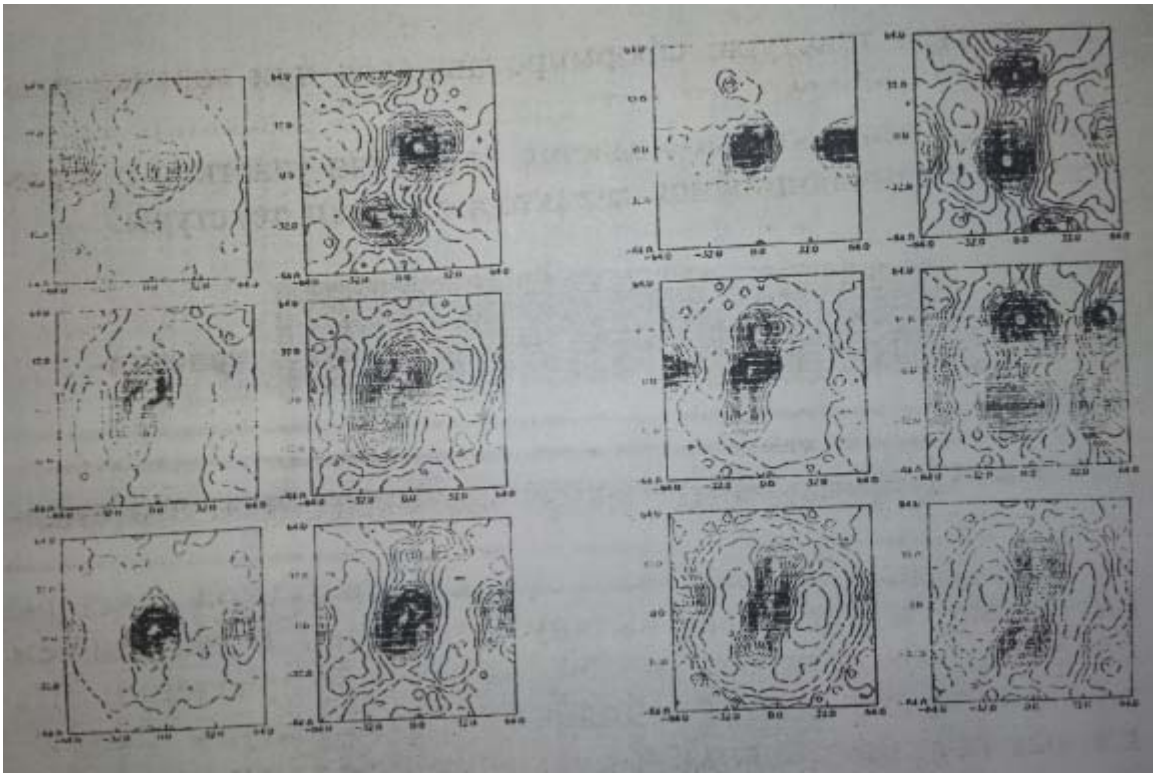


Рисунок 1.5 – Полюсні фігури {001} зліва і {101} (праворуч), побудовані для різноманітних ділянок поверхневого шару лопатки.

Тип текстури залежить від умов деформування сплаву. Як було зазначено вище, в процесі виготовлення лопатки компресора з титанового сплаву піддають багаторазовому деформуванню, умови деформування яких кардинально відрізняються, в тому числі і в різних місцях тієї ж лопатки [4].

1.3 Аналіз умов роботи лопаток та вимоги до їх властивостей.

Лопатки турбіни ГТД сприймають енергію від стисненого і нагрітого газу та перетворює її в механічну енергію обертання ротора. Лопатки відносяться до найбільш навантажених деталей газотурбінного двигуна.

Важконавантаженілопатки компресора в ГТД з титанового сплавув процесі експлуатації піддаються дії відцентрових сил, які призводять до появи розтягувальних напружень та значних вібраційних напружень. Також лопатки з титанових сплавів дуже чутливі до концентраторів напружень у вигляді надрізів, заусінців, що значно знижують опір втомі матеріалу і можуть призвести до передчасного виходу з ладу лопатки.

При роботі ГТД в умовах значного запилення атмосфери, абразивні частинки пилусприяють ерозійномупошкодженню поверхневого шару лопатки компресора та може утворювати твердий осад на деталях гарячої частини двигуна (рис.1.6) .

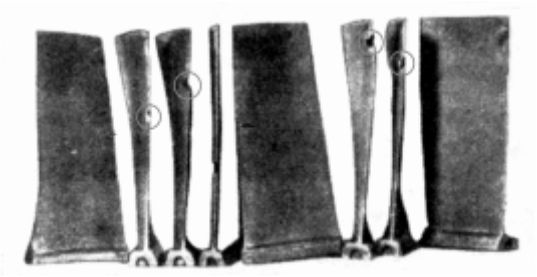


Рисунок 1.6 – Пошкодження поверхневого шару лопаток компресора в наслідок потрапляння сторонніх абразивних часток[2].

Характер впливу запиленого повітря на роботу двигуна залежить від фізико-хімічної природи пилу, що надходить до газоповітряного тракту двигуна, його дисперсності і концентрації в повітрі.

Лопатки роторної та статорної частин ГТД працюють в різноманітних температурних умовах. На вході в компресор температура знаходиться в межах – 50 ^{o}C … - 60 ^{o}C, в зоні останніх ступеней компресора низького тиску вона досягає 600 … 700 ^{o}C.

Профільна частина лопатки – перо лопатки окрім розтягувальної дії від відцентрових сил, згину та кручення від струменя газового потоку зазнає дії знакозмінного навантаження та вібрації, амплітуда та довжина яких змінюються в широкому діапазоні.

Аналіз умов, в яких працюють лопатки, і вивчення типових аварій лопаткових апаратів зумовили наступні вимоги до матеріалу лопаток турбін:

А) висока жароміцність, тобто збереження високих показників міцності при високій робочій температурі;

Б) висока пластичність, необхідна для рівномірного розподілу напружень по всій площі поперечного перерізу лопатки;

В) висока втомна міцність (витривалість);

Г) високий декремент загасання;

Д) стабільність структури, що забезпечує незмінність механічних властивостей під час експлуатації турбін;

Е) високий опір окисленню і окалиностійкість при високих температурах;

Ж) сприятливі технологічні властивості, що дозволяють застосовувати більш раціональні методи обробки лопаток (в першу чергу - різанням) і забезпечують точне виконання розміру профілю та високу чистоту обробки. Метал для лопаток повинен добре кувати, штампувати, куються без появи тріщин, добре гнутися і вальцювати в холодному стані. У разі зварних конструкцій від металу лопаток потрібна хороша зварюваність.

З) Високий опір ерозії.

Основними вимогами до конструктивних елементів газової турбіни є висока жароміцність та жаростійкість.

На лопатки осьових і відцентрових компресорів діють значні вібраційні навантаження. Основною вимогою до них є висока стійкість до втоми матеріалу і його спроможність до демпфування коливань. Для лопаток I ступені компресора при роботі в холодних умовах потрібна низька температура переходу від в'язкого до крихкого руйнування.

Вимоги до матеріалу лопаток компресора:

- висока втомна міцність;
- корозійна та ерозійна стійкість;
- високі властивості міцності при робочих температурах. Крім того матеріал лопаток першої ступені повинен мати низький поріг холодноламкості.

Вибір матеріалу робочих лопаток здійснюються за характеристиками границі тривалої міцності при робочій температурі металу, це повинно забезпечувати необхідний запас міцності відносно максимального розтягуючого зусилля. У охолоджуваних лопатках не вдається істотно знизити температуру кромок, тому, крім жароміцності, висувається вимога високої жаростійкості в продуктах згорання палива при температурі, що дорівнює температурі газу. Ця ж вимога висувається до матеріалу не охолоджуваних лопаток.

Проаналізувавши умови роботи лопаток компресора з титанового сплаву та закладений рівень властивостей в процесі виготовлення лопаток не є достатніми, тому можна зробити висновок,що в тих екстремальних умовах в яких вони використовуються механічні показники міцності не є достатніми, що обумовлює додаткове комплексне оброблення лопаток використовуючи ВП, УЗЗ та різного виду покриття).

1.4Фізична сутність нанесення покриття TiNта мета його використання.

В наслідок того, що лопатки ГТД з титанового сплаву ВТ8 дуже чутливі до концентраторів напружень у вигляді задирів, заусенців, що виникають в процесі експлуатації лопатки. Під час експлуатації лопатки зазнають сильної ерозійної дії в наслідок контакту різноманітних часток пилу, піску, крапель води та ін., які призводять до передчасного виходу з ладу самої лопатки, а в гіршому випадку самого двигуна.

Таким чином, з розглянутих умов роботи та процес виготовлення лопаток можна зробити висновки, що отриманні в процесі виготовлення

лопаток властивості не є достатніми, тому актуальним питанням є створення на поверхні лопатки тонкого зносостійкого покриття з нітриду титану (матод КІБ), що призведе до підвищення строку служби лопаток.

Розглянемо технологію нанесення покриття з нітриду титану.

Нітридтитанове покриття наносять на перо лопаток методом КІБ. При цьому процеси КІБ звичайно включають вакуумне розпилення або випаровування важкотопкого металу, його часткову або повну іонізацію, подачу реакційного газу, хімічні і плазмохімічні реакції, конденсацію покриття на поверхні лопатки.

Вакуумноплазмові методи універсальні за можливістю одержання широкої гами моношарових, багатошарових і композиційних покриттів на базі нітридних, карбідних, карбонітридних, оксидних, боридних і інших з'єднань важкотопких металів IV-VI груп Періодичної системи елементів. За допомогою цих методів можна осаджувати якісні покриття при низьких температурах підкладки [5].

Високий ступінь керованості роблять вакуумноплазмові технології нанесення зносостійких покрить найбільш перспективними для лопаток компресора. Існує декілька методів нанесення покриттів на лопатки компресора. Зокрема: іонне розпилення, іонно-термічне нанесення, нанесення покриття із плазми електродугового розряду з гарячим катодом. Для нанесення покриття на лопатки було використано метод нанесення із плазми електродугового розряду з холодним катодом.

Ефективними і відносно простими є пристрої, засновані на процесах випаровування матеріалу, що генерується катодною плямою вакуумної дуги - потужнострумовим низьковольтним розрядом, що розвивається винятково в парах матеріалу електродів. Теоретичне й експериментальне вивчення характеристик вакуумної дуги, а також рішення ряду конструктивних питань, дозволило досягти останнім часом значних успіхів в удосконалюванні технології нанесення покрить з електродугового розряду з інтегрально холодним катодом. Значне поширення одержав метод конденсації у вакуумі на

поверхню лопатки речовини з плазмової фази з іонним бомбардуванням - метод КІБ Цей метод дає можливість наносити високоміцні і зносостійкі покриття на поверхню лопаток компресора, виготовлених з титанового сплаву ВТ8. Метод реалізується на різних установках звичайного типу (рис. 1.7) і з плазмооптичною системою керування, плазмовим потоком. (холовським прискорювачем) [6] (рис. 1.7).

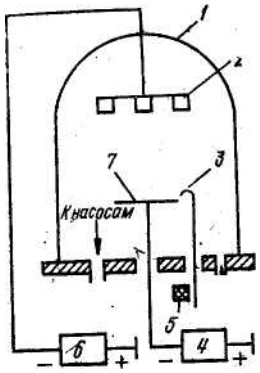


Рисунок 1.7 – Схема нанесення покриття із плазми електродугового розряду з холодним катодом (метод КІБ): 1 - корпус вакуумної камери (анод); 2 - оброблювані деталі; 3 - електромеханічний запальник дуги; 4 - джерело живлення дуги; 6 - електромагніт; 6 - джерело живлення подачі негативного потенціалу на підкладку; 7 – матеріал що напиляється (катод).

Метод КІБ заснований на тому, що плазмовий потік металу, що утворився за допомогою вакуумної дуги з холодним катодом, прискорюється шляхом подавання негативного потенціалу до лопатки з наступною конденсацією на ній іонів і нейтральних атомів при одночасному проходженні плазмохімічної реакції їх з реактивним газом. Подаючи у вакуумну камеру газ-реагент під час електродугового випаровування титану, можна одержувати покриття на основі нітридів, карбідів і інших з'єднань металів IV і VI груп Періодичної системи елементів. Важливою особливістю даного методу є можливість проведення ефективного іонного очищення поверхні виробу шляхом інтенсивного бомбардування її, прискореними іонами розпиленої речовини, що створює умови для високої адгезії покриття до підкладки. При високому потенціалі підкладки (1 кВ і вище) прискореними іонами розпилюється не тільки метал що

осаджується, але і частково поверхневий шар підкладки. Так здійснюється іонне травлення підкладки, що забезпечує очищення поверхні. Одночасно прискорені іони впроваджуються в підкладку і насичують тонкий приповерхній шар. Глибина проникнення іонів у цьому випадку виявляється достатньої для забезпечення надійної адгезії покриття.

Лопатки перед покриттям TiN проходять ретельне очищення (знежирення). Відбувається послідовне промивання бензин - ацетон - дистильована вода, потім очищення сухим, чистим повітрям і перевірка на збирання краплі. Після цього деталі проходять ультразвукове (кавітаційне) очищення потім знову промивання в дистильованій воді. Наступний етап візуальний контроль чистоти поверхні. Якщо лопатка не проходить контроль, роблять знежирення із самого початку. Час між знежиренням і початком конденсації не більш 4 годин.

В даний час розроблений ряд різних модифікацій установок для нанесення зносостійких покрить, об'єднаних єдиним принципом генерації речовини мішені катодною плямою вакуумної дуги. Основні відмінності їх полягають у способах деіонізації, фокусування, прискорення і сепарування плазменнго потоку. Поліпшувати якість нанесення зносостійких покрить на лопатки ГТД дозволяє розробка комплексних технологій [7], що включає попередню хіміко-термічну обробку з наступним нанесенням покриття, наприклад попереднє іонне азотування контактних площадок лопаток й осадження покрить по методу КІБ. Перевага комплексного технологічного процесу полягає в можливості поєднання обох операцій в одному технологічному циклі при використанні вакуумплазмових установок нового покоління.

В процесі нанесення покриття не слід забувати про можливість утворення крапельної фази.Основним видом дефекту можна віднести механізм зносу покриття TiN під час повітряно-абразивного впливу.

Крапельна фаза є невід'ємною частиною під час електродугового розпилення і як правило,є джерелом зносу. Крапельна фаза не володіє екстремальними властивостями покриття TiN, тобто це матеріал катоду – титан.

На рисунку 1.8 представлено поверхню лопатки, де присутні краплі матеріалу, які виступають над поверхнею лопатки і піддаються абразивному впливу.

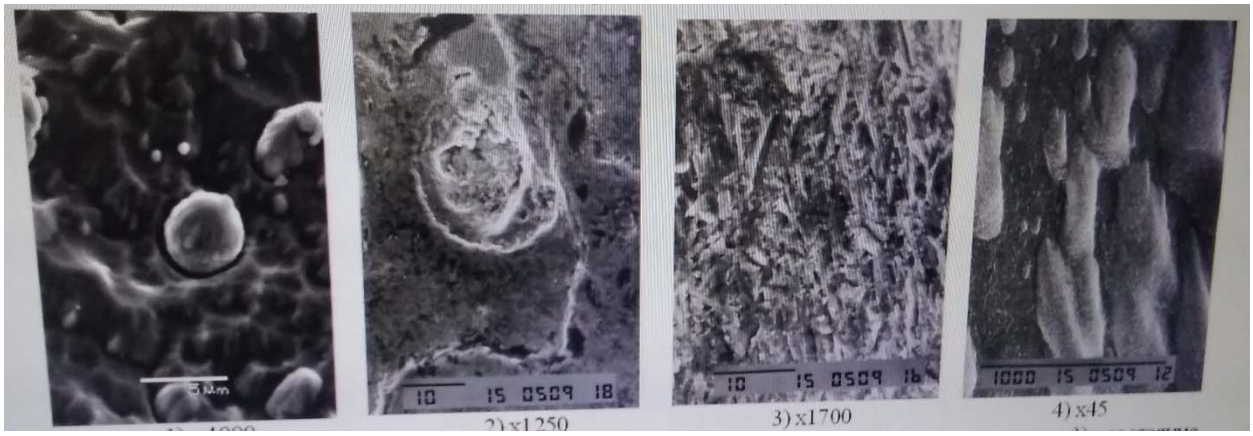


Рисунок 1.8 – Вигляд крапельної фази на поверхні лопатки.

З наведеного рисунку можна зробити висновки, що присутність крапельної фази на поверхні лопатки є місцем зародження руйнування захисного покриття. При подальшому абразивному впливі часток на місце зародження руйнування відбувається підрив покриття зі сторони основи.

1.5 Роль покриттів в підвищенні експлуатаційних характеристик лопаток.

В наслідок того, що лопатки ГТД з титанового сплаву ВТ8 дуже чутливі до концентраторів напружень у вигляді задирів, заусенців, що виникають в процесі експлуатації лопатки. А саме, процесі експлуатації лопатки зазнають сильної ерозійної дії в наслідок контакту різноманітних часток пилу, піску, крапель води та ін., які призводять до передчасного виходу з ладу самої лопатки, а в гіршому випадку самого двигуна.

Покриття відіграє дуже важливу роль їх основним призначенням є підвищення характеристик матеріалу. В розділі 1.3 було розглянуто умови

експлуатації лопаток ГТД і зроблено висновки, що основними причинами виходу з ладу лопаток компресора зі сплаву ВТ8 є в наслідок ерозійної дії. Вплив ерозійних пошкоджень, що створюють концентрацію напружень, утворених в поверхневому шарі в процесі обробки.

Для підвищення ерозійної стійкості лопаток ГТД в промисловості використовують нітрид титанове покриття (TiN) частинок пера лопатки, отриманої на основі вакуум-плазмових технологій.

Таким чином, з розглянутих умов роботи та процесу виготовлення лопаток можна зробити висновки, що отриманні в процесі виготовлення лопаток властивості не є достатніми, тому актуальним питанням є створення на поверхні лопатки тонкого зносостійкого покриття з нітрид титану (метод КІБ), що призведе до підвищення строку служби лопаток.

РОЗДІЛ 2
МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.

Матеріалом дослідження є лопатки 1-го ступені компресора газотурбінного двигуна (ГТД) виготовлених з жароміцного титанового сплаву ВТ8. Зразки для дослідження вирізалися безпосередньо з лопатки, а саме зі спинки і кромки. Хімічний склад та механічні властивості сплаву наведені в першому розділі.

2.1 Принципова схема та устрій установки для нанесення покриття TiN.

Нітрид титанове покриття наносять на перо лопаток (рис.2.1) конденсацією газометалевої суміші шляхом іонного бомбардування (метод КІБ). При цьому процеси КІБ звичайно включають вакуумне розпилення або випаровування важкотопкого металу, його часткову або повну іонізацію, подачу реакційного газу, хімічні і плазмохімічні реакції, конденсацію покриття на поверхні лопатки.

Рисунок 2.1 Лопатки компресора після процесу КІБ.

Метод КІБ заснований на тому, що плазмовий потік металу, що утворився за допомогою вакуумної дуги з холодним катодом, прискорюється шляхом подавання негативного потенціалу до лопатки з наступною конденсацією на ній іонів і нейтральних атомів при одночасному проходженні

плазмохімічної реакції їх з реактивним газом. Подаючи у вакуумну камеру газ-реагент під час електродугового випаровування титану, можна одержувати покриття на основі нітридів, карбідів і інших з'єднань металів IV і VI груп Періодичної системи елементів. Важливою особливістю даного методу є можливість проведення ефективного іонного очищення поверхні виробу шляхом інтенсивного бомбардування її, прискореними іонами розпиленої речовини, що створює умови для високої адгезії покриття до підкладки. При високому потенціалі підкладки (1 кВ і вище) прискореними іонами розпилюється не тільки метал що осаджується, але і частково поверхневий шар підкладки. Так здійснюється іонне травлення підкладки, що забезпечує очищення поверхні. Одночасно прискорені іони впроваджуються в підкладку і насичують тонкий приповерхній шар. Глибина проникнення іонів у цьому випадку виявляється достатньої для забезпечення надійної адгезії покриття.

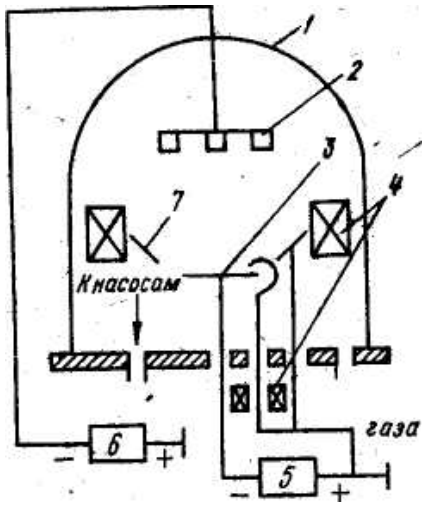


Рисунок 2.2 – Схема нанесення покриття із плазми електродугового розряду з холодним катодом і плазмооптичною системою: 1 - корпус вакуумної камери (анод); 2 - оброблювані деталі; 3 – матеріал, що напиляється (катод); 4 - електромагніти; 5 - джерело живлення дуги; 6 - джерело живлення подачі негативного потенціалу на підкладку; 7 –анод, який охолоджується водою.

Лопатки перед покриттям TiN проходять ретельне очищення (знежирення). Відбувається послідовне промивання бензин - ацетон -

дистильована вода, потім очищення сухим, чистим повітрям і перевірка на збирання краплі. Після цього деталі проходять ультразвукове (кавітаційне) очищення потім знову промивання в дистильованій воді. Наступний етап візуальний контроль чистоти поверхні. Якщо лопатка не проходить контроль, роблять знежирення із самого початку. Час між знежиренням і початком конденсації не більш 4 годин.

Після завантаження деталей у камері створюється вакуум. Потім відбувається очищення високою напругою. Прокачують азот (N), на 4 титанових катоди подається I=75±5А с напругою U=0-1,5±0,1 кВт - 5 хвилин, потім I=150±5А з напругою I=0-1,5±0,1квт - 10 хвилин. Відключають високу напругу.

Подають N під тиском P=2-3,5-10^{-1}Па, включають джерело живлення підложки, відкривають випаровувачі, установлюють струм на 4-х катодах I=300+15 А, причому сумарний струм з боку корита і спинки I=600±15А встановлюють напруга U=100±10Вт. У процесі конденсації контролюють усі задані параметри. Час конденсації 40-80 хвилин. В міру вироблення катодів відбувається зменшення товщини покриття при незмінних параметрах технологічного процесу. Час конденсації:

$$t_k = t_0 + 5t_n / 3$$

де, t_0=40 хвилин - час конденсації першої партії;

t_n - час конденсації наступних партій;

n - номер партії садки.

Збільшують час на кожній партії кратної 3-м партіям садок. Максимальна виробка катода 30 хвилин.

Після закінчення конденсації відключають струм, і відбувається вакуумне охолодження 15-20 хвилин і без вакууму 30-40 хвилин. Потім подають гарячу воду 35-60°С для охолодження випаровувачів, розгерметизація камери, обдування сухим, чистим повітрям, зняття деталей.

2.2 Мікроскопічний аналіз та вимір мікротвердості.

Вивчення мікроструктури проводили на оптичному мікроскопі МІМ-8. Мікроструктуру сплаву вивчали після різних варіантів зміцнювальної обробки та після нанесення покриття методом КІБ. Для виявлення мікроструктури покриття зразки витримували у травнику(20 мл. - HF, 20 мл. – HNO_3, 60 мл. – H_2O) тривалий час, що призводило до перетравлювання границь між α та β-фазами сплаву ВТ8, але при цьому виявлялась мікроструктура покриття.

Вивчення мікротвердості проводили на установці ПМТ-3 з поверхні спинки та серцевини зразків лопатки після комбінування зміцнювальних обробок. Було обрано наступні варіанти обробки: 1 – ВП; 2- УЗЗ(5хв); 3- ВП та КІБ; 4- ВП, УЗЗ(5хв),КІБ; 5-КІБ та УЗЗ(5хв). Результати яких наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Мікротвердість поверхневих шарів лопатки Нμ,МПа.

Зміцнювальний режим обробки	Спинка Нμ,МПа	Серцевина Нμ,МПа
ВП	4090	3800
УЗЗ (5 хв.)	4670	3840
ВП + КІБ	7950	3840
ВП + УЗЗ(5хв.) + КІБ	8040	3880
КІБ + УЗЗ (5хв)	7830	3830

2.3 Методика дослідження текстури рентгеноструктурним методом.

Вивчення впливу зміцнювальних обробок на структурні зміни в поверхневому шарі лопаток проводили за допомогою рентгеноструктурного аналізу в мідному випромінюванні на дифрактометрі ДРОН-1. Монохроматизацію дифракційних променів здійснювали за допомогою

кварцового монохроматора, встановленого перед сцинтиляційним лічильником, що забезпечувало як фільтрацію β-випромінювання, так і істотне зменшення фону від зразка. Реєстрацію дифрактограм і обробку експериментальних даних проводили з використанням комп`ютера, сполученого з дифрактометром за допомогою спеціального пристрою. Дифрактограми знімали у повному діапазоні кутів відбиття в інтервалі 11…80°. Зйомку здійснювали з поверхні вхідної кромки і спинки у плоских ділянках пера лопатки.

Фазовий склад структури поверхневого шару проводили за стандартною методикою [8] шляхом порівняння розрахункових експериментальних значень міжплощиних відстаней d_{HKL} із довідковими даними [9].

Інтенсивності ліній 111 і 200 для ГЦК гратки нітриду титану (TiN) на дифрактограмах зразків значно відрізнялися залежно від виду зміцнювальної обробки, що свідчило про певну кристалографічну орієнтацію зерен в покритті сполуки TiN. Для кількісної оцінки ступеня текстурованості й виявлення компонент текстури було визначено параметр P,який характеризував відношення інтенсивності дифракційної лінії 111 до інтенсивності лінії 200 ($P=I_{111}/I_{200}$). Аналогічний параметр був визначений і для зразка з нетекстурованою фазою TiN. Такий зразок був отриманий методом подрібнювання шару покриття TiN у порошок (при цьому фактично досягалося хаотичне розташування зерен TiN). Параметр P для нетекстурованного зразка дорівнював 0,55, що досить добре узгоджувалось із відомими значеннями інтенсивності дифракційних відбиттів для фази TiN[9]. Перевищення значень параметра P для експериментальних зразків при зйомці покриття безпосередньо з лопатки, у порівнянні зі значенням 0,55, свідчило про формування текстури, при якій паралельно поверхні лопатки розташовувалися площини (111). Збільшення параметра P свідчило про значну частку в об`ємі покриття зерен, орієнтованих саме площинами (111).

Для виявлення механізму формування найбільш сприятливої текстури в поверхневому шарі без покриття, залежно від послідовності й поєднання зміцнювальних обробок віброполірування(ВП), ультразвукову зміцнення (УЗЗ),

визначали параметр ε = I_{004}/I_{110}, де у чисельнику I_{004} – інтенсивність дифракційної лінії 004, як відбиток від кристалографічної базисної площини (0001) гексагональної щільнопакованої гратки α-фази, а у знаменику I_{110}-інтенсивність променів, відбитих від площин призматичного типу (1120) тієї ж гратки. Параметр ε якісно характеризує кристалографічну орієнтацію зерен α-фази, що виникає при виготовленні лопаток, а також її зміни у процесі різних обробок.

Надійність параметра єдля порошкового нетекстурованного матеріалу лопатки підтверджується його доволі низьким значенням, що дорівнювало 0,42. Будь-яке збільшення параметру > 0,42 свідчить про те, що зерна α-фази в об′ємі поверхневого шару лопатки орієнтовані відносно її поверхні переважно площинами (0001).Слід додати, що методику оцінки текстури в поверхневому шарі лопаток у процесі їхнього виготовлення вперше було описано в роботі [10], яка дещо відрізнялася при оцінці компонента текстури (0001) в цьому дослідженні.

2.4 Визначення параметрів елементарної комірки α-фази.

З метою підтвердження можливості дифузії азоту із утворенням твердого розчину впровадження були визначені періоди елементарної комірки α -фази a і при використанні ліній (110)α і (004)α.

Для визначення гексагональної сингонії параметра гратки «*a*» обрано лінію 110 та за допомогою квадратичної формули розраховуємо його.

Де a і c – параметри кратки гексагональної сингонії;

d_{HKL} – міжплощинна відстань;

HKL – індекси обраної лінії.

Використовуємо формулу для обраної лінії 110 для якої L = 0.

Тоді

$$a_{110} = \sqrt{\frac{8}{3}} d_{110}$$

За допомогою формули Вульфа-Брега розрахуємо міжплощинну відстань для лінії 110:

Де θ_{110} встановлюємоіз дифрактограми експериментальних даних.

λ- довжина хвилі для мідного випромінювання, λ = 1,54178 А.

Розрахункова формула параметра гратки *a* матиме вигляд:

.

Для розрахунку параметру «*c*» використовуємо лінію 004.

Згідно квадратичної формули маємо:

.

Тоді:

$$c_{004} = 4d_{004}$$

Похибка визначення параметрів а і с для дифрактометра:

$$\Delta a = actg\theta\Delta\theta = 0{,}00041\text{A}$$

$$\Delta c = cctg\theta\Delta\theta = 0{,}00042\ \text{A}$$

Де θ - кут відбиття;

Δθ - точність виміру кутів на дифрактометрі.

$\Delta\theta = 0^{o}{,}005*П/180 = 8{,}7*10^{-5.}$ А.

2.5 Сутність процесу ультразвукового зміцнення.

Процес ультразвукового зміцнення деталей складної геометричної форми заснований на використанні кінетичної енергії робочого тіла за допомогою ультразвукового поля, що виникає в замкнутому просторі при виникненні в ньому пружних механічних коливань ультразвукової частоти. Ультразвукове зміцнення кульками лопаток компресорів в серійному виробництві проводять в спеціальних концентраторах.

В якості робочих тіл використовували сталеві кульки зі сталі ШХ15 діаметром 1,3 ... 1,6 мм. З метою виключення явища сухого тертя при ударах кульок об оброблювану поверхню деталі застосовується змочувальна рідина - вода з антикорозійними добавками. Обсяг рідини для змочення, що заливається в робочий об'єм, знаходиться в межах 4 ... 10 мл.

Маса кульок в концентраторі становить 200 ... 400 г, інтенсивність їх переміщення визначається силою струму I, яка знаходиться в межах 25 ... 60 mA.

РОЗДІЛ 3
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

3.1 Аналіз фазових перетворень в діаграмі стану Ti-N.

Вивчення фазового складу покриття і поверхні лопатки, є актуальним, оскільки в результаті плазмохімічної реакції на поверхні лопатки можливе утворення різних фаз. В залежності від того, які фази утворяться, такими і будуть властивості покриття. Тому проведено аналіз діаграми Ti−N (рис. 3.1).

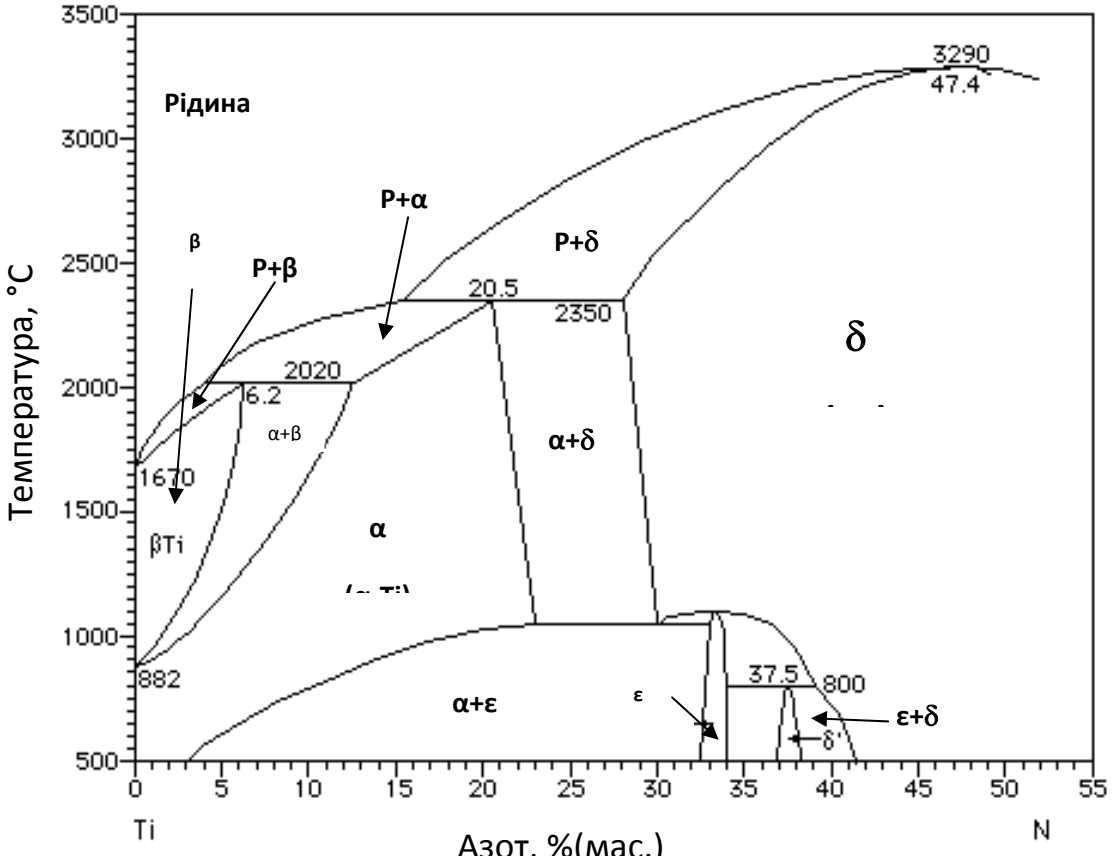


Рисунок 3.1 – Діаграма стану Ti-N

Діаграму стану Ti-N досліджували в ряді робіт, багато з яких присвячені уточненню окремих елементів діаграми. Азот відноситься до групи елементів, що значно розчиняється в (α-Ti) і різко підвищує температуру α↔β поліморфного перетворення Ti [11]. Азот, розчиняючись у Ti, не тільки підвищує температуру його поліморфного перетворення, але і температуру

плавлення сплавів, що при вмісті ≈50 % (ат.) N досягає 3290 °С. При цій температурі плавиться кубічний нітрид TiN_x (δ-фаза). Цей нітрид має широку область гомогенності, що при температурі 2350 °С простирається від 28 до 50 % (ат.) N. Перитектична реакція Р + (α-Ti) ↔ (β-Ti) проходить при 2020±25 °С, перитектична горизонталь простирається від 4 до 12,5 % (ат.) N. При температурі 2350±25 °С відбувається перитектична реакція Р + δ ↔(α-Ti). Перитектична горизонталь простирається від 15 до 28 % (ат.) N. При температурі 2350 °С в (β-Ti) розчиняється 20,5 % (ат.) N, а при 2050 °С - 23 % (ат.) N. При вмісті -33 % (ат.) N при температурі 1050-1100 °С утворюється нітрид Ti_2N (фаза ε).

Авторами роботи [12] з використанням сучасних методів фізико-хімічного аналізу почато повторне дослідження діаграми стану системи Ti-N. При 1495 °С зафіксована область гомогенності фази ε в інтервалі концентрацій з 36-34 % (ат.), N. Остання обставина вказує, на думку авторів роботи, що нітрид Ti_2N утворюється при більш високих температурах, чим вважали раніше.

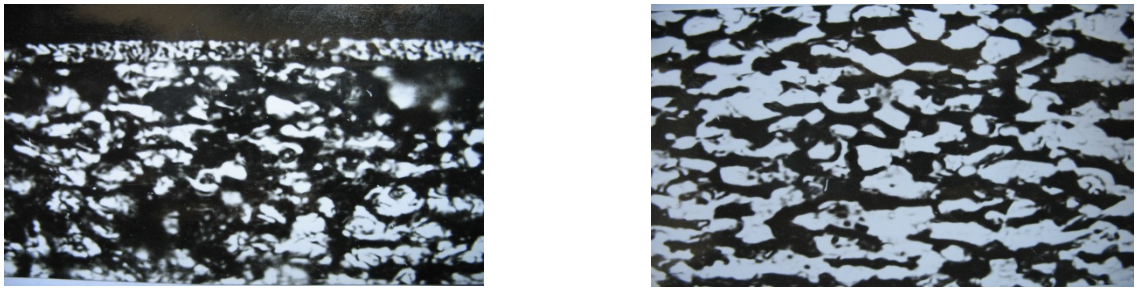
За результатами ,авторами робіт [13], отриманими методом дифузійного насичення азотом трубчатих зразків з Ті при температурах 1000-2165 °С з наступним відпалом при 1300 °С на протязі 408-510 год. встановлено, що розчинність N у (α-Ti) трохи вище значення, зазначеного в роботах [11]. Згідно роботі [12] границя області твердого розчину N у (α-Ti) змінюється від 23,1-% (ат.) N при 1150 °С до 14,5 %; (а.):N при 400 °С.

Кристалічна структура фази δ відноситься до типу NaCl (символ Пірсона *cF*8, пр. гр. *Fm3m*), а = 0,428 нм. Відповідно до роботи [14] параметр ґратки фази δ залежить від ступеня відхилення від стехіометрії змінюється від 0,42073 нм для $TiN_{0,4}$ до 0,42398 нм для TiN. У роботі [15] повідомляється про існування в системі Ti-N ще двох проміжних фаз: η(Ti_3N_{2-x}) і ζ(Ti_4N_{3-x}).

3.2 Вивчення мікроструктури.

Мікроструктуру сплаву вивчали після різних варіантів зміцнювальної обробки та після нанесення покриття методом КІБ. Для виявлення мікроструктури покриття зразки витримували у травнику (20 мл. - HF, 20 мл. – HNO_3, 60 мл. – H_2O) тривалий час, що призводило до перетравлювання границь між α та β- фазами сплаву ВТ8. На рис. 3.2 приведені мікроструктури сплаву ВТ8 і структура самого покриття, котра виявлена тільки після довготривалого травлення.

Структура титанової основи лопатки характеризується наявністю зерен α та β- фаз, при цьому в поверхневому шарі лопатки зерна α- фази мали більш витягнуту форму вздовж осі лопатки порівняно з внутрішніми шарами (рис.3.3). Остання обставина пов’язана з великою деформацією поверхневого шару в процесі виготовлення лопатки.

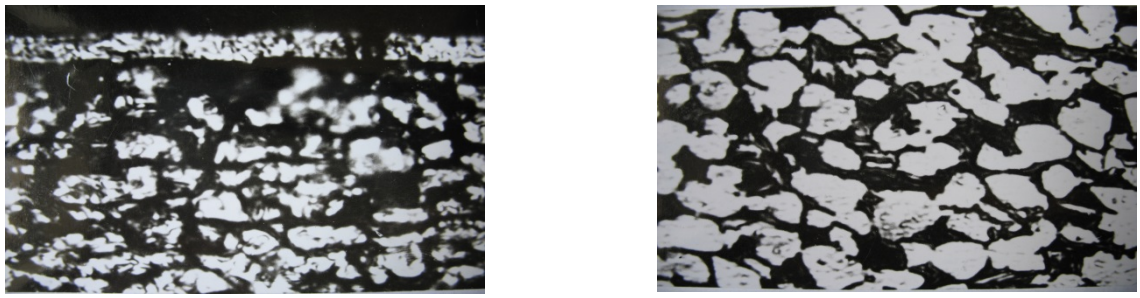


а б

а- поверхневий шар; б- внутрішній шар

Рисунок 3.2 – Мікроструктура лопаток із покриттям TiN після віброполірування ×950.

Шар покриття TiN має не викривлений майже однаковий характер по перетину (рис. 3.3). На рис. 3.3 з виявленою структурою покриття характерна стовпчаста форма кристалів напрямок їх росту перпендикулярний поверхні лопатки, що підтверджує одержані надалі дані рентгеноструктурного аналізу про наявність кристалографічної текстури фази TiN.

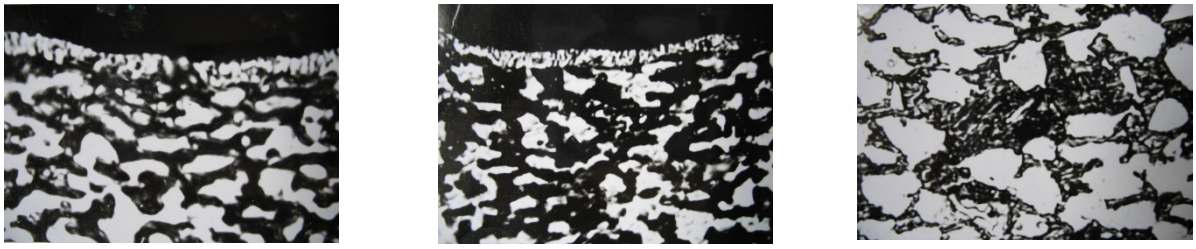


а б

а- поверхневий шар; б- внутрішній шар

Рисунок 3.3 – Мікроструктура лопаток після комплексної обробки ВП+УЗЗ(5 хв.)+КІБ ×950.

Характерно, що для лопаток після комплексної обробки у наступній послідовності ВП+КІБ+УЗЗ в мікроструктурі виявляється порушення суцільності покриття внаслідок відшарування покриття від поверхні лопатки. Спостерігаються ділянки покриття, коли шар TiN частково спотворюється, приймаючі криволінійний характер у місцях контакту кульок з поверхнею лопатки при обробці УЗЗ (рис.3.4). Слід підкреслити в мікроструктурі (рис.3.4) наявність уламків покриття, котрі утворилися в процесі сколювання і розтріскування покриття при виготовленні шліфа, що свідчить про підвищену крихкість покриття після обробки УЗЗ, тому проводити УЗЗ після нанесення покриття не раціонально.



а б в

а, б- поверхневий шар;в- внутрішній шар

Рисунок 3.4 – Мікроструктура лопатки після комплексної обробки ВП+КІБ+УЗЗ(5 хв.) ×950×2.

3.3 Дослідження фазового складу поверхневого шару лопатки із нанесеним покриттям TiN.

Фазовий склад покриття представлений фазою TiN. Фаза TiN має різну стехіометрію від $TiN_{0,4}$ до $TiN_{0,97}$. Стехіометрія фази TiN залежить від параметрів технології нанесення покриття, зокрема від тиску азоту і сили струму. Фази η (Ti_3N_{2-x}), ζ (Ti_4N_{3-x}) і ε (Ti_2N) до складу покриття не входять.

Фазовий склад поверхневих шарів лопаток після різних обробок досліджено рентгеноструктурним методом при зйомці дифрактограм, які показані на рис. 3.5 і 3.6.

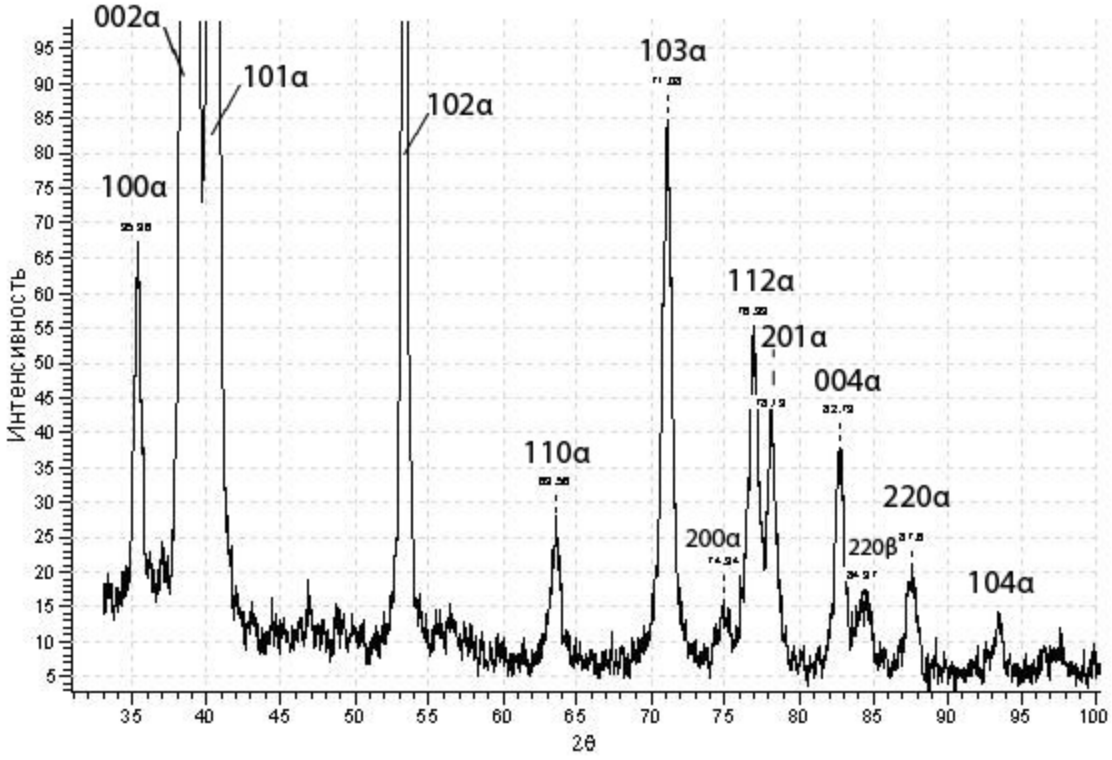


Рисунок 3.5 - Дифрактограма поверхневого шару лопатки після вібропалірування та ультразвукового зміцнення.

Розрахункові дані міжплощинних відстаней на поверхні лопатки без покриття представлені у табл.3.1.

З отриманої дифрактограми можемо бачити наявність α-фази і β-фази.

Таблиця 3.1- Міжплощинні відстані d_{HKL}, Å та інтенсивності I для експериментальних і довідникових даних виявлених фаз на поверхні лопатки без покриття.

Експериментальні дані				Довідникові дані для фаз			
				α-Ti		β-Ti	
№	2θ	d_{HKL}, Å	I,%	d_{HKL}, Å	I,%	d_{HKL}, Å	I,%
1	35.36	2.538	63	2,54	100		
2	38.86	2.317	121			2,32	ДС
3	40.40	2.233	121	2,241	100		
4	53.36	1.717	122	1,728	40		
5	63.56	1.464	27	1,477	40		
6	71.08	1.326	84	1,326	50	1,34	С
7	74.94	1.267	16	1,249	40		
8	76.93	1.239	51	1,22	45		
9	78.13	1.223	38	1,233	30		
10	82.73	1.167	37	1,70	40		
11	84.37	1.148	13			1,161	Ср.
12	87.60	1.114	19	1,13	20		

На дифрактограмі поверхневого шару після проведення процесу ВП та УЗЗ виявлена присутність як α- так і β-фази.

На рис. 3.6 приведена дифрактограма поверхневого шару лопатки після віброполірування, ультразвукового зміцнення та нанесення покриття методом КІБ.

Розрахункові дані міжплощинних відстаней на поверхні лопатки із покриттям представлені у табл.3.2.

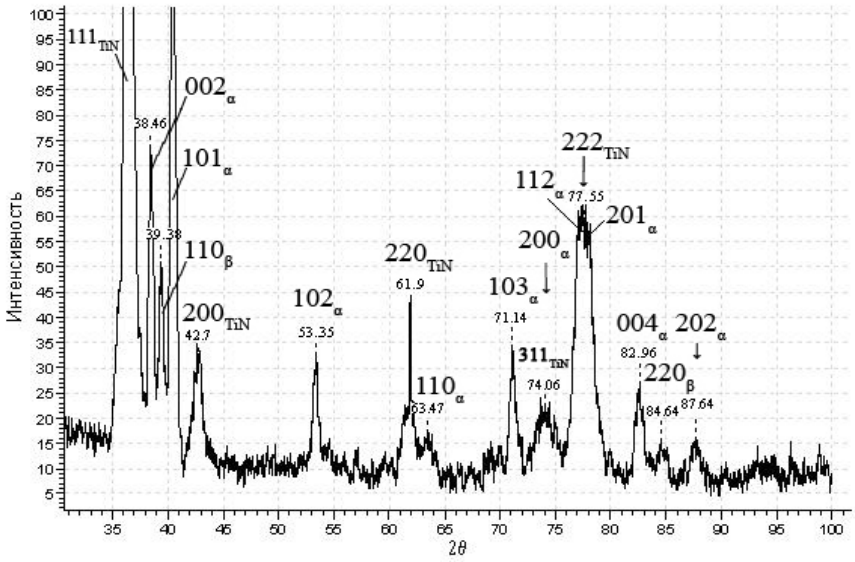


Рисунок 3.6- Дифрактограма поверхневого шару лопатки після вібропалірування ультразвукового зміцнення та нанесення покриття методом КІБ.

Таблиця 3.2. - Міжплощинні відстані d_{HKL}, Å та інтенсивності I для експериментальних і довідникових даних виявлених фаз на поверхні лопатки із покриттям.

Експериментальні дані				Довідникові дані для фаз					
				α-Ti		β-Ti		TiN	
№	2θ	d_{HKL}, Å	I,%	d_{HKL}, Å	I,%	d_{HKL} Å,	I,%	d_{HKL}, Å	I,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	36.445	2.465	121					2,440	С
2	38.46	2.341	72	2,341	80				
3	39.38	2.288	50			2,32	50		
4	40.47	2.229	121	2.241	100				
5	42.70	2.117	30					2,116	О.С.
6	53.35	1.717	31	1.728	40				
7	61.90	1.499	39					1,495	Ср.
8	63.47	1.466	15	1.477	40				
9	71.14	1.325	34	1.336	50				
10	74.06	1.280	20					1,275	Сл.

11	77.55	1.231	57					1,221	Д.Сл.
12	82.56	1.168	26	1.233	30				
13	84.64	1.145	15	1,129	20				
14	87.64	1.113	16			1.161	Ср.		

При проведенні аналізу дифрактограм лопаток із покриттям була виявлена наявність α- фази, β-фази та фази TiN. Наявність фази Ti_2N не була виявлена. Присутність на дифрактограмі ліній α- і β-фази обумовлена малою товщиною покриття (2-4 мкм), внаслідок чого поглинання рентгенівських променів в покритті незначне.

3.4 Аналіз формування текстури в поверхневому шарі лопатки.

Аналіз зразків дифрактограм лопаток з нанесеним покриттям показало, що крім ліній α і β-фаз титану присутні лінії фази нітриду титана TiN із ГЦК граткою й просторовою групою Fe_3m. Інтенсивності ліній 111 і 200 для ГЦК гратки нітриду титану (TiN) на дифрактограмах зразків значно відрізнялися залежно від виду зміцнювальної обробки, що свідчило про певну кристалографічну орієнтацію зерен в покритті сполуки TiN. Для кількісної оцінки ступеня текстурованості й виявлення компонент текстури було визначено параметр P,який характеризував відношення інтенсивності дифракційної лінії 111 до інтенсивності лінії 200 ($P=I_{111}/I_{200}$). Аналогічний параметр був визначений і для зразка з нетекстурованою фазою TiN. Такий зразок був отриманий методом подрібнювання шару покриття TiN у порошок (при цьому фактично досягалося хаотичне розташування зерен TiN). Параметр P для нетекстурованного зразка дорівнював 0,55, що досить добре узгоджувалось із відомими значеннями інтенсивності дифракційних відбиттів для фази TiN [9]. Перевищення значень параметра P для експериментальних зразків при зйомці покриття безпосередньо з лопатки, у порівнянні зі значенням 0,55, свідчило про формування текстури, при якій паралельно поверхні лопатки

розташовувалися площини (111). Збільшення параметра Р свідчило про значну частку в об`ємі покриття зерен, орієнтованих саме площинами (111).

Обрані для аналізу лінії 111 і 200 мали різну інтенсивність, що свідчило про наявність різного ступеня текстурованности покриття.

Були визначені інтенсивності обраних ліній для α-фази й TiN відповідно після кожного виду обробки для спинки й кромки, розрахований параметр ε, що характеризує текстуру α-фази й параметр Р для виявлення текстури покриття TiN. Розрахункові значення цих параметрів наведено в табл.3.3 і 3.4.

Таблиця 3.3 - Параметр ε, що характеризує текстурованність α-фази для різних способів зміцнення і досліджуваних ділянок пера лопаток

Спосіб обробки	Параметр $\varepsilon=I_{004}/I_{110}$	
	спинка	кромка
Без ВП	0,88	1,30
ВП	1,09	1,38
ВП+УЗЗ(5хв)	2,36	1,50
ВП+УЗЗ(10хв)	2,00	1,6
ВП,950° - відпалення	0,62	0,48
КІБ	0,78	1,27
ВП+КІБ	0,81	1,29
ВП+УЗЗ(5хв)+КІБ	2,22	1,62
ВП+УЗЗ(10хв)+КІБ	1,92	1,80
ВП+КІБ+УЗЗ(5хв)	1,79	1,54

Таблиця 3.4 - Параметр Р, що характеризує текстурованність покриття TiN для різних видів обробки й досліджуваних ділянок пера лопаток

Спосіб обробки	Параметр $P=I_{111}/I_{200}$	
	спинка	крайка

КІБ (без ВП)	6,2	3,2
ВП+КІБ	11,4	6,6
ВП+УЗЗ(5хв)+КІБ	17,4	12,6
ВП+УЗЗ(10хв)+КІБ	14,6	13,2
ВП+КІБ+УЗЗ(5хв)	13,0	10,3

Як показав аналіз (табл.3.3), при обробці УЗЗ деформація в поверхневому шарі сприяло збільшенню кількості зерен α-фази, орієнтованих щодо поверхні лопатки базисною площиною (0001). Після УЗЗ параметр є для спинки становив 2,36 і 2,0, у той же час після віброполірування без обробкиУЗЗ він дорівнював 1,09.

Ефективним напрямком підвищення експлуатаційних характеристик деталей ГТД (лопаток компресорної турбіни) є поверхневе пластичне деформування, здійснюване різними методами, до числа яких відносяться гідродробоструменеве і пневмодробострумневе зміцнення, зміцнення мікрокульками.

Дані методи характеризуються відсутністю жорсткого зв'язку деформівних елементів з оброблюваною поверхнею, мають невисоку продуктивність і створюють несприятливі умови на робочих місцях. Більш ефективним способом підвищення експлуатаційних характеристик виробів є ультразвукове зміцнення (УЗЗ) вільними кульками, яке проводиться в спеціальній робочій камері, де під дією ультразвукового поля хаотично переміщаються під дією ультразвуку кульки.

Особливістю ультразвукового зміцнення є те, що позитивний ефект досягається за рахунок багаторазового мікроконтакту при відсутності заданої траєкторії, що дозволяє зміцнювати тонкостінні деталі складної конфігурації і забезпечує більш рівномірне характер поверхневої деформації.

Обробка УЗЗ лопаток з покриттям приводить до збільшення кількості зерен, орієнтованих базисною площиною, але істотно менше, ніж попередня

обробка УЗЗ до процесу нанесення покриття. При обробці ВП+КІБ для спинки параметр ε дорівнював 0,81; для обробок ВП+КІБ+УЗЗ(5хв) і ВП+УЗЗ(5хв)+КІБ відповідно 1,79 і 2,22. Слід зазначити, що насичення твердого розчину α-фази атомами азоту частково блокує розвиток процесів деформації у площинах типу (0001), тому що у цьому випадку збільшується частка зерен, орієнтованих площинами призматичного типу (1120), що не суперечить літературним даним [20].

Визначено оптимальний режим УЗЗ, який знаходяться в межах:

амплітуда коливань ξ = 10 ... 30мкм, діаметр кульок dш = 1,5 ... 3 мм, час обробки t = 100 ... 200 с. Ультразвукове зміцнення вільними кульками призводить до формування в поверхневому шарі стискають залишкових напружень в зразках з титанових сплавів ВТ8 від 4 до 450 ... 500 МПа з глибиною залягання 250 ... 350 мкм.

Аналіз текстури покриття показав істотний збіг характеру зміни значень параметра Р для покриття (табл.3.4) і параметра ε для α-фази (табл.3.3).

Виявлено, що збільшення параметра Р для спинки і кромки лопатки, відбувається як у випадку попередньої обробки УЗЗ до нанесення покриття, так і при обробці УЗЗ після утворення покривів. Відзначимо надзвичайно важливий факт, який свідчить про те, що при такій послідовності комплексної обробки спостерігається підвищена кількість зерен з базисною орієнтацією (0001).

Отримані результати можна пояснити, з огляду на такі міркування. Відомо [16], що залежно від типу кристалічної гратки переважну швидкість росту мають площини з найбільшою ретикулярною густиною, до яких належить і площина (111) ГЦК гратки нітриду титану. Величина параметра Р, отриманого для нетекстурованного нітридного покриття, знятого з поверхні лопатки й подрібненого в порошок, дорівнює 0,55.

Істотне збільшення значень параметра Р для всіх зразків у порівнянні з величиною 0,55 свідчить про переважну орієнтацію зерен паралельну площини (111) відносно поверхні лопатки в покритті зерна, що повинно сприятливо впливати на зносостійкість, оскільки площина (111) є найбільш

щільнопакованою. Збільшення загального об`єму зерен з такою орієнтацією є значно суттєвішим (17,4 і 14,6) після попередньої обробки УЗЗ протягом відповідно 5 і 10 хвилин (табл.3.4).

Виникнення переважної текстури нітридного покриття більш зрозуміло, якщо розглянути кристалографію граток α-фази і TiN, що буде визначатися найбільш сприятливим орієнтаційним узгодженням кристалічних граток підкладки й покриття [17]. Близькі характеристики структури в цьому плані мають площина (111) ГЦК гратки нітриду титану, яка складає 298 нм. й базисної площини (0001) ГЩП гратки α-фази , що становить 295 нм. Отже, якщо на поверхні лопатки, як на підкладці, більшість зерен орієнтована базисною площиною (0001), то міжфазна границя між покриттям і поверхнею лопатки, очевидно, буде наближатися до когерентної (значний рівень кристалогеометричного зв`язку, що забезпечує переважний розвиток у процесі формування покриття кристалів TiN з найбільш сприятливим орієнтуванням (111).

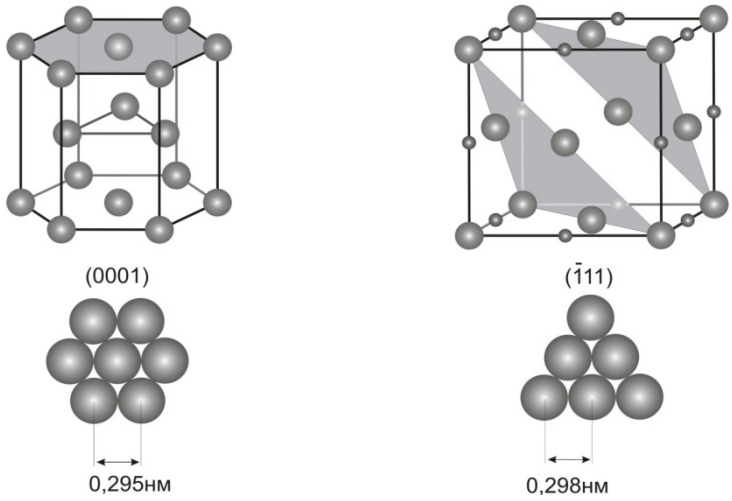


Рисунок 3.6 - Площини сполучення граток α-фази і TiN

Низькі значення параметра Р - 6,2 для спинки й 3,2 – для кромки лопатки, які не піддавалися віброполіруванню, свідчить про те, що ефективність очищення поверхні лопаток при бомбардуванні їх іонами титану трохи

знижується через наявність макроушкоджень на поверхні, що, у свою чергу, знижує текстурованність покриттів. Усунення віброполіруванням ушкоджень підвищує текстурованність покриття (обробка ВП+КІБ).

Відзначимо, що для всіх комплексних обробок частка зерен, орієнтованих площинами (111) паралельно поверхні спинки лопатки перевищує текстурованність покриття на кромках (можливо через менше очищення поверхні гострих кромок, а також розбіжності у характері текстури α-фази).

3.5 Дослідження впливу азоту на періоди елементарної комірки ГЩП гратки α-фази.

В процесі КІБ плазмохімічна реакція титану з азотом при утворенні нітриду титану відбувається переважно на поверхні виробів, про це відзначається в роботі [18]. Ймовірність дифузії азоту в поверхневий шар лопатки є досить високою. Оскільки азот, відповідно до діаграми стану Ti-N, є α-стабілізатором, то утворення твердого розчину впровадження азоту у гратку α-фази завжди приводить до збільшення періоду гратки, що є характерним саме для твердих розчинів впровадження.

Були визначені періоди *a* і *c* елементарної комірки α-фази при використанні ліній (110)α і (004)α. Розрахункові дані цього експерименту представлені табл. 3.5 для періоду *a* і *c*.

Таблиця 3.5 - Періоди елементарної комірки «*a*» та «*c*» α-фази після різних способів зміцнення для спинки пера лопаток.

Спосіб зміцнення	Періоди елементарної комірки	
	a,нм	*c*,нм
Без ВП	0,4663	0,2929
ВП	0,4663	0,2931
ВП+КІБ	0,4669	0,2930
КІБ	0,4668	0,2932
ВП+УЗЗ(5хв)	0,4663	0,2930

ВП+УЗЗ(5хв)+КІБ	0,4674	0,2931
ВП+КІБ+УЗЗ(5хв)	0,4679	0,2928

Виявлено істотну розбіжність в значеннях періоду *c*, період параметр *a* практично залишається незмінним, що не суперечить даним роботи [17], у якій спостерігали збільшення періоду с залежно від кількості азоту в титані.

Азот у твердому розчині ГЩП-гратки займає позиції в тетраедричних і октаедричних порах, при цьому останні мають більший об`єм у порівнянні з тетраедричними і являють собою в напрямку (0001) суцільні канали [19], чим і пояснюється збільшення періоду с для всіх зразків лопаток з нанесеним покриттям нітриду титану.

Період с на зразках з попередньою обробкою УЗЗ протягом 5 хвилин перед покриттям в порівнянні зі зразками без обробки УЗЗ є більшим, що пов`язано, імовірно, зі збільшенням кількості зерен, орієнтованих площинами (0001) паралельно поверхні лопаток. Останнє підтверджується даними по визначенню параметра Р, який характеризує зміну текстури. Так, при обробці УЗЗ протягом 5 хвилин, параметр Р збільшується до значення 2,36 у порівнянні з величиною 1,09 для цієї характеристики безпосередньо після віброполірування (табл.3.3).

Якщо обробка УЗЗ проводилась після нанесення покриття (ВП+КІБ+УЗЗ 5хв), то значення періоду с відповідно 0,4679 нм, що перевищувало цю характеристику у випадку, коли обробка УЗЗ передувала процесу покриття.

Зміцнення твердого розчину внаслідок пошкодження кристалічної гратки, а також блокування атомами азоту дислокацій, підвищують залишкові напруження стиснення для варіанту послідовності обробок ВП+УЗЗ(5хв)+КІБ. Слід зазначити, що наявність азоту у твердому розчині гратки σ-фази, як домішки впровадження, може приводити до появи деякої частки спрямованого ковалентного зв`язку [16], що також є одним із факторів, які сприяють підвищенню міцності матеріалу.

3.6 Аналіз даних виміру мікротвердості.

Проведене дослідження мікротвердості свідчить про її збільшення на поверхні спинки (табл. 3.6). Це може бути пов’язано із такими факторами: в процесі здійснення додаткових зміцнювальних обробок (ВП,УЗЗ,КІБ) в при поверхневих шарах лопатки виникає велика кількість дефектів, які перешкоджають рух дислокаціям, що призводить до підвищення зносостійкості поверхневих шарів.

Таблиця 3.6 – Мікротвердість поверхневих шарів лопатки Нμ,МПа.

Зміцнювальний режим обробки	Спинка Нμ,МПа	Серцевина Нμ,МПа
ВП	4090	3800
УЗЗ (5 хв.)	4670	3840
ВП + КІБ	7950	3840
ВП + УЗЗ(5хв.) + КІБ	8040	3880
КІБ + УЗЗ (5хв)	7830	3830

Аналіз таблиці свідчить про те ще, зміна зміцнювального режиму обробки майже не змінює мікротвердість серцевини. УЗЗ призводить до поверхневої пластичної деформації, яка сприяє появі великої кількості дефектів та ускладнює рух дислокаціям, що і призводить до підвищення твердості в порівнянні з ВП та серцевиною. Використання КІБ суттєво підвищую твердість спинки, що пояснюється утворенням твердого розчину втілення атомів азоту в α-фазу між якими утворюється ковалентний зв'язок, що і призводить до підвищення твердості у двічі, в порівнянні з серцевиною. Таким чином, найбільш оптимальний зміцнювальний режим обробки є ВП + УЗЗ (5 хв) +КІБ.

РОЗДІЛ 4
ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Характеристика ринку технологій зміцнення.

Ринок технологій є найважливішим фактором сучасної міжнародної економіки.

Сучасна ринкова середовище характеризується тим, що технології, безперервно розвиваючись, змінюють ринок, формуючи нові потреби і видозмінюючи зв'язані технологічні ланцюжки.

Світові ринки технологій служать своєрідним полігоном, на якому проходять вирішальні випробування і здійснюється відбір нововведень, що розробляються в науково-дослідних і виробничо-технічних підрозділах різних країн.

4.2 Обґрунтування наукових досліджень.

Метою цього розділу є обґрунтування доцільності використання зміцнювальної комплексної обробки лопаток компресора з титанового сплаву шляхом нанесення зносостійкого покриття.

Таблиця 4.1 - Техніко-економічні показники виробів

Найменування виробу	Базовий виріб	Новий виріб
1.Лопатка компресора.	ВТ8	ВТ8
2. Технологія зміцнення	-	ВП УЗЗ Покриття(TiN)

3.Програма випуску, шт	100	100

Відомо, що лопатка компресора має виробничу собівартість C_1 = 5000 грн.

Для розрахунку собівартості нового виробу C_2 необхідно розрахувати собівартість удосконалення виробу та технологію його зміцнення.

Вартість сировини і основних матеріалів розраховується на основі технічно обґрунтованих норм використання на виробництво одиниці виробу, цін відповідних видів матеріальних ресурсів. При цьому враховуються транспортно-заготівельні витрати. Сума витрат на сировину та матеріали зменшується на величину зворотних відходів, які створюються в процесі виробництва.

Вартість сировини та основних матеріалів наведена в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Вартість сировини та основних матеріалів для

Найменування сировини та основних матеріалів	Норма використання	Ціна, грн	Вартість, грн
Сталеві загартовані кульки(ШХ15)	5 кг	350	1750
Азот	10 л	3000	30000
Разом	-	4150	31750

Основна заробітна плата основних виробничих робітників на одиницю виробу розраховується на основі трудомісткості виготовлення та часових тарифних ставок.

Розрахунок основної заробітної плати на одиницю продукції наведений в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка)

Найменування операції	Норма часу, н-годин	Розряд робіт	Часова тарифна ставка, грн.	Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка), грн.
Віброполірування	1	4	45	45
УЗЗ	0,05	4	45	2,25
Нанесення покриття TiN	5	5	50	250
Усього	6,05	13	140	297,25

Додаткова заробітна плата виробничих робітників виплачується за кількість та якість виконаної роботи. Вона вміщує надбавки і доплати, премії за виробничі результати, оплату чергових та додаткових відпусток та інше. Додаткова заробітна плата складає 40% від основної, та розраховується за формулою

$$ЗД = ЗО \cdot \frac{К_Д}{100}, \text{ грн.}$$

де $К_д$ – процент додаткової заробітної плати.

Відрахування на соціальні заходи являють собою форму перерозподілу доходу на фінансування суспільних потреб, розраховуються згідно діючого законодавства і складають 22% від фонду оплати праці. Відрахування на соціальні заходи розраховуються за формулою

$$ВС = (ЗО + ЗД) \cdot \frac{К_{вс}}{100}, \text{ грн.}$$

$К_{вс}$ - % відрахування на соціальні заходи.

Загальновиробничі витрати вміщують витрати на утримання та експлуатацію обладнання, цехові витрати і послуги виробничого характеру.

Витрати на утримання та експлуатацію обладнання вміщують витрати на технічне обслуговування машин і механізмів, витрати на поточний ремонт обладнання, цехового транспорту та інструментів, знос малоцінних і швидкозношуваних приладів, заробітну плату допоміжного персоналу та інші. Цехові витрати вміщують витрати, пов'язані з поточним ремонтом та амортизацією будівель цеху, заробітну плату керівників і спеціалістів цеху, витрати на охорону праці та техніку безпеки в цеху та інші.

Загальновиробничі витрати складають в середньому 400% до основної заробітної плати та розраховуються за формулою

$$ЗВВ = ЗО \cdot \frac{\alpha}{100}, \text{ грн}$$

де α - % загально виробничих витрат.

Вищенаведені витрати складають виробничу собівартість.

Адміністративні витрати вміщують витрати, пов'язані з утриманням адміністративно - управлінського персоналу підприємства, а також утриманням та експлуатацією основних засобів загального виробничого призначення, охорону праці та техніку безпеки персоналу та інші. Адміністративні витрати складають в середньому 500% від основної заробітної плати основних виробничих робітників та розраховуються за формулою

$$АВ = ЗО \cdot \frac{\beta}{100}, \text{ грн.}$$

де β - % адміністративних витрат.

Витрати на збут складаються з витрат, пов'язаних з реалізацією продукції і вміщують витрати на тару та тарні матеріали, транспортування готової продукції, рекламу, витрати на маркетингові дослідження та інші. Витрати на збут складають 2% від виробничої собівартості і розраховуються за формулою

$$ВЗ = С_в \cdot \frac{\gamma}{100}, \text{ грн.}$$

де $С_в$ – собівартість виробнича, грн;

γ - % витрат на збут .

Прибуток складає 30% від повної собівартості і розраховується за формулою

$$П = С \cdot \frac{Р}{100}, \text{ грн}$$

де Р – рентабельність виробу, %.

Калькуляція собівартості і ціни продукції наведена в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Калькуляція собівартості і ціни виробу

	Статті витрат	Сума, грн
1	Сировина і основні матеріали	31750
2	Купівельні комплектуючі вироби	-
3	Основна заробітна плата основних виробничих робітників	297,25
4	Додаткова заробітна плата основних виробничих робітників	118,9
5	Відрахування на соціальні заходи з заробітної плати основних виробничих робітників	91,55
6	Загальновиробничі витрати	1189
7	Собівартість виробнича	5297
8	Адміністративні витраті	1486,25
9	Витрати на збут	105,9
10	Повна собівартість	6889

4.3 Економічна ефективність.

Розраховується економічна ефективність інноваційного проекту за такими показниками:

- економія витрат в виробництві;
- економія експлуатаційних витрат;
- питомі показники ефективності;
- беззбитковість виробництва;
- термін окупності додаткових капітальних вкладень;

- оцінка доцільності інвестицій (капітальних вкладень) в інноваційний проект.

Економія витрат в виробництві розраховується на основі економії конкретних видів матеріальних, трудових та інших ресурсів. Розрахунок економії витрат наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Економія витрат на виробництво

Найменування показника	Норма використання		Ціна, грн	Вартість, грн		Економія, грн
	Базовий виріб	новий виріб		базовий виріб	новий виріб	
Сплав ВТ8, кг			85	-	170	255
Кульки ШХ15	-	1	70	-	65	135
Разом			155		235	390

З метою підтвердження позитивного впливу зміцнювальної термічної обробки проведено дослідження мікротвердості, яку наведено в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Мікротвердість поверхневих шарів лопатки Нμ,МПа.

Зміцнювальний режим обробки	Спинка Нμ,МПа	Серцевина Нμ,МПа
ВП	4090	3800
УЗЗ (5 хв.)	4670	3840
ВП + КІБ	7950	3840
ВП + УЗЗ(5хв.) + КІБ	8040	3880
КІБ + УЗЗ (5хв)	7830	3830

Аналіз табл. 4.6 свідчить, твердість серцевини являє собою твердість лопатки, яка була би отримана в процесі її виготовлення, тобто без зміцнювальної обробки. З таблиці також видно, що проведення зміцнювальної термічної обробки підвищую мікротвердість лопатки майже в 2 рази,що призводить до суттєвого збільшення ресурсу роботи та підвищую стійкість матеріалу.

$$E = (Сб \times Ке.р. – Сн) * N = (5000*1,5 -5297)*100 = 220\ 300 \text{ грн.}$$

Сб – собівартість базового виробу

Сн – собівартість нового виробу

Ке.р- коефіцієнт економічного ресурсу.

Таким чином, з розглянутого та розрахованого матеріалу виявлено, що впровадження додаткового зміцнення буде не суттєво впливати на його собівартість та виготовлення, але цим ми значно підвищимо ресурс роботи лопатки та її стійкість до виходу з ладу, а це свідчить про підвищення надійності матеріалу.

РОЗДІЛ 5
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.

В розділі надані основні заходи з охорони праці при дослідженні впливу текстурованості покриття TiNна експлуатаційні характеристики лопаток зі сплаву ВТ8.

5.1 Аналіз потенційних небезпек.

а) Незадовільні параметри при організації робочого місця дослідника в наслідок не виконання умов ергономіки, що може призвести до погіршення умов праці.

б) Небезпеки, які пов’язані з можливістю ураження електричним струмом. Головними причинами можуть бути: не виконання правил з електробезпеки внаслідок відсутності навчання та перевірки знань з електробезпеки, несправності енергоспоживаючого обладнання.

Наслідки,що можуть призвести до тяжких електричних травм або летального наслідку.

в) Небезпеки, які пов’язані з досліджуванням процесу нанесення покриття TiN на зразки лопаток. Зокрема, негативний вплив електромагнітного випромінювання при роботі установки КІБ.

г) Небезпеки. які пов’язані з дослідженням текстури рентгеноструктурним методом. Зокрема, негативний вплив іонізуючого випромінювання.

д) Можливість отримання механічних травм при підготовці дослідних зразків. Основними причинами можуть бути непередбачений контакт з частинами обладнання які рухаються чи обертаються.

е) Небезпеки, які пов’язані з дослідженням мікроструктури при дослідженні структури на оптичному мікроскопі МІМ8. Зокрема,ушкодження органів зору в наслідок хибного вибору світлофільтра мікроскопа. Негативний вплив іонізуючого випромінювання при проведенні фазового аналізу.

ж) Незадовільні метеорологічні параметри повітряного середовища в приміщенні дослідницької лабораторії, внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітрообмінну.

з) Можливість загоряння в наслідок порушення правил пожежної безпеки, зокрема виток горючих робочих газів, коротке замикання.

і) Небезпеки, які пов'язанні з умовами праці в надзвичайних ситуаціях, зокрема, порядок проведення аварійно-рятувапьних та інших невідкладних робіт.

5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки.

а) За ГОСТ 12.2.032-78. «СС. Рабочее место при выполнение работ сидя. Общие эргономические требования». конструкція робочого місця повинна забезпечувати оптимальне положення співробітника що досягається за рахунок регулювання висоти сидіння та підставки для ніг. Підставка для ніг повинна регулюватися в висоті . Ширина повинна бути не менше 300мм,довжина не менше 400мм. Поверхня підставки повинна бути рифленою. По передньому краю слід передбачити бортик висотою 10мм. Важливим фактором є простір під столом, і його має бути досить ,щоб можна було зручно згибати та розгинати коліна. Стіл повинен мати криволінійну форму. Крісло повинно забезпечити фізіологічно раціональну робочу позу,при якій не порушується циркуляція крові і не було іншого шкідливого впливу. Для цього необхідно щоб у крісла була пружна спинка анатомічної форми яка зменшить навантаження на хребет. Також крісло обов’язково повинно бути з підлокітниками і мати можливість повороту, зміни висоти кута нахилу сидіння та спинки. Монітор повинен розташовуватися н робочому столі прямо, і

віддалений від очей на 50-60см. Верхні границі екрану повинні бути на рівні очей або не нижче 15см від рівня очей. Клавіатура повинна розташовуватися в 10-15см (в залежності від довжини ліктя) від краю стола. Глибина стола повинна дозволяти повністю положити лікті на стіл, і відсунути клавіатуру до монітора.

б) Основними заходами захисту від можливості ураження електричним струмом є:

Організаційні:

До виконання робіт допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки, та отримали допуск відповідно групи (2 чи 3).

Згідно ДНАОП 1.1.10-1.01-200 «Правила безпеки експлуатації електроустановок споживачів» експлуатацію та ремонт електрообладнання повинен здійснювати тільки спеціально підготовлений персонал. Для кожного виду обладнання повинні бути складені схеми нормування роботи та роботи ваварійних ситуаціях.

Технічні:

- всі не ізольовані струмопровідні елементи електрообладнання повинні бути надійно огороджено суцільними огородженнями, зняття або відкриття, яких можливе тільки за допомогою спеціальних пристроїв;
- розташування струмоведучих частин на недоступній висоті (до 1000В - не менше 3,5м, при напрузі більше 1000В - не менше 6м);
- наявність захисного заземлення.

в) Основними заходами безпеки під час дослідження процесу нанесення покриття нітрид титану на лопатки можна віднести наступне: до роботи на установка для нанесення покриттів допускаються особи, яким виповнилося 18 років, які пройшли підготовку та атестацію по правилам експлуатації установки,правилам техніки безпеки.

При виконанні технологічних переходів нанесення покриття для обслуговуючого персоналу можуть представляти небезпеку наступні фактори, які потребують заходів захисту:

- Для виключення можливості руйнування ємності під тиском (азот,гелій) повинні бути розташовані в безпечному для персоналу місці, забороняється будь-яку їх самодовільне переміщення та розташування біля джерел високої теплової енергії;
- Для попередження опіків рідким азот його необхідно зберігати в ємностях Дьюара;
- Для виключення термічних опіків, які можуть бути пов’язані з високою температурою оброблюваних деталей та зовнішніх поверхонь необхідним є використання рукавиць;
- Для мінімізації негативного впливу металевого пилу, яка з’являється під час розгерметизації установки рекомендується використання респіраторів.

г) До основних заходів з дослідженням текстури рентгеноструктурним методом є дотримання вимог правил безпеки перед початком роботи, до яких входить:

- Прибрати сторонні предмети з лабораторії.

- Правила радіаційної безпеки в рентгенівській лабораторії:

а) необхідно закрити місця можливого розсіяння рентгенівських променів захисними свинцевими екранами;

б) При встановлені камер з люмінесцентними екранами для візуального спостереження за юстировкою зразка необхідно користуватися захисним просвинцованим склом;

в) Для забезпечення захисту рук оператора від опромінення при юстировці геніометра користуватися подовженими торцевими крючками.

- Привила електробезпеки в рентгенівський лабораторії:

а) перед роботою перевірити справність заземлення. Опір елементів заземлення повинні бути не більше 4 Ом.

б) Заборонено вмикати установки при несправності блокуючих пристроїв.

в) Усі профілактичні та ремонтні проводити при вимкненому електропостачанні рентгенівської установки та підключенні електропостачанні всієї лабораторії.

- надіти спец одяг (халат).

д) Основними заходами від механічного травмування під час виготовлення зразків є:

- дотримання чистоти та порядку на робочому місці;
- наявність попереджувальних знаків;
- проведення інструктажів, навчання, згідно НПАОП 0.00-4.12-05.

Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці:

- забезпечення індивідуальними засобами захисту; брезентові -тахіоні костюми згідно ГОСТ 12.4.045-87 Костюм і для Зашиты. от повышенных температур. Технические-условия; рукавиці брезентові згідно ГОСТ 12.4.010-75 ССБТ Средства индивидуальной зашиты. Рукавицы специапьные.Технические условия; спеціальне взуття з захисним носком згідно ГОСТ 12.4.050-78 ССБТ-Обувь -специальная валянки для защиты от повышенных температур. Технические условия.

е) Осноні заходи які пов′язані з дослідженням мікростуктури на оптичному мікроскопі є:

- для запобігання ураження органів зору під час дослілження мікроструктури необхідно обирати світлофільтр, який є оптимальним для певного збільшення;

- обертати мікроскопічний гвинт на пів оберта при точному наведенні на фокус.

До виконання робіт допускаються особи, що ознайомлені з правилами технічної експлуатації та безпеки обслуговування електроприладів. Експлуатація та профілактика прибору повинна виконуватись під керівництвом

інженера або техніка, що розуміються в налагодженні приладу в цілому та окремих його частин.

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.

ж)Для забезпечення оптимального рівня параметрів повітряного середовища виробничого приміщення, шо зазначені у ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Обшие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» (табл.5.1) в проекті передбачено: устрій системи водяного отопления приміщення для забезпечення необхідної температури повітря в холодний період року відповідно СНиП 2.04.05-91 *У «Отопление, вентиляция и кондиционирование».

Таблиця 5.1 - Оптимальні параметри повітряного середовища

Період року	Температура, С	Відносна вологість, %	Швидкість руху. м/с
Холодний	18-22	40-60	0,1-0,3
Теплий	20-23	40-60	0,1-0,4

В приміщеннях, де немає викидів шкідливих речовин у великій КІЛЬКОСТІ, для забезпечення необхідного повітряобміну в теплий період року, передбачено устрій штучної механічної загально обмінної вентидяції відповідно /ГОСТ 12.4.021-75 «ССБТ. Системы вентиляционные. Обшиє требования».

5.4Заходи з пожежної безпеки.

з) В комплексі заходів, шо використовуються в системі протипожежного захисту, важливе значення має вибір раціональних способів та засобів гасіння різних горючих речовин матеріалів згідно зі СНиГІ 2.01.02-85 «Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений». Необхідно впершу чергу звернути увагу на основні обов'язки керівників та посадових осіб щодо забезпечення пожежної безпеки, до числа яких слід віднести:

- розроблення комплексу заходів щодо забезпечення пожежної безпеки на підприємстві, в установі, в організації;

- розроблення та затвердження відповідно до державних нормативних актів положень, інструкцій та інших нормативних документів і пожежної безпеки, які діють в межах підприємства, а також здійснення контролю за їх виконанням:

- організацію навчання працівників з питань пожежної безпеки;

- утримання у справному стані засобів протипожежного захисту і зв'язку, пожежної техніки, обладнання та інвентарю, який має використовуватися лише за призначенням;

- кожен працівник має володіти правилами поведінки при пожежі, вміти користуватися первинними засобами пожежогасіння та знати їх місцезнаходження.

В разі виникнення пожежі працівники повинні негайно повідомити про це пожежну охорону телефоном "101" і керівництво підприємства та розпочати ліквідацію пожежі усіма наявними засобами. Тому основний комплекс протипожежних заходів, як правило, повинен включати:

- погодження проектів будівництва та реконструкції із пожежною інспекцією:

- відкриття новобудов або реконструйованих споруд лише після дозволу пожежної інспекції;

- експлуатацію споруд, обладнання та механізмів відповідно до протипожежних вимог (згідно з правилами, інструкціями тощо);

- виконання будь-яких робіт лише підготовленими, в тому числі з питань пожежної безпеки, фахівцями;

- установлення адміністративної відповідальності керівників усіх структур і головний лікар, завідувачі відділень та служб за адекватне виконання необхідних протипожежних заходів:

- інструктаж персоналу та пацієнтів;

- забезпечення споруд (відділень) засобами пожежно-охоронної сигналізації та засобами пожежегасіння;

- створення в установі (закладі) медичної або фармацевтичної галузі відповідних структур пожежегасіння, добровільних дружин та ланокпожежегасіння.

-затвердження заходів протипожежної профілактики.

Із технічних засобів передбачено:

- вогнегасник ВПП-10:призначені для гасіння більшості горючих речовин і матеріалів за винятком лужних металів, речовин, які горять без доступу повітря (бавовна, піроксилін), а також електроустаткування під напругою;

- вогнегасник ВВК-5: призначені для гасіння легкозаймистих та горючих рідин, твердих горючих речовин і матеріалів, електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В, а також цінних предметів :

- пожежні щити повинні встановлюватися у виробничих і складських приміщеннях, не обладнаних внутрішнім протипожежним водопроводом або автоматичними установками пожежогасіння. Крім того, щити встановлюються на території підприємств, шо не мають зовнішнього протипожежного водопроводу, а також при видаленні будинків та зовнішніх технологічних установок цих підприємств на відстані більше 100 м від зовнішніх пожежних вододжерел.

5.5Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях.

і) Метою проведення рятувальних та інших невідкладних робіт (Р і І НР) в

осередках масового ураження є рятування людей та надання медичної допомоги потерпілим, локалізація аварій га усунення пошкоджень, котрі перешкоджають проведенню рятувальних та відновлювальних робіт. Рятувальні роботи включають:

-розвідку маршрутів висування формувань і об'єктів робіт;

- локалізацію і гасіння пожеж на маршрутах висування і на ділянках робіт;

- пошук потерпілих і витягування їх із пошкоджених та палаючих будинків,

- загазованих, затоплених, задимлених приміщень, із завалів;

- розкриття зруйнованих, пошкоджених, завалених споруд та рятування людей, котрі там перебувають;

- подавання повітря в завалені споруди з пошкодженою фільтровально вентиляційною системою;

- надання першої медичної допомоги потерпілим та евакуація їх до лікарських установ;

- виведення (вивезення) населення з небезпечних зон у безпечні райони;

- санітарну обробку людей, ветеринарну обробку сільськогосподарських тварин, дезактивацію та дегазацію техніки, засобів захисту, одягу, продовольства, їжі, води, фуражу.

Інші невідкладні роботи включають:

а) прокладання колонних шляхів та влаштування проїздів (проходів) у завалах та в зонах ураження;

б) локалізацію аварій на газових, електричних мережах з метою забезпеченняумов для проведення рятувальних робіт;

в) укріплення чи руйнування конструкцій будинків та споруд, котрі загрожують обвалом та перешкоджають безпечному руху і проведенню рятувальних робіт;

г) ремонт та відновлення пошкоджених і зруйнованих ліній зв'язку та комунально-енергетичних мереж з метою забезпечення рятувальних робіт та

інших невідкладних робіт, а також захисних споруд для укриття людей у випадку повторних НС;

д) пошук, знешкодження та знищення боєприпасів, шо не розірвалися та інших вибухонебезпечних предметів.

Р та 1НР проводяться безпосередньо в осередках ураження за будь якої погоди до повного їх завершення.

Великий обсяг роботи в осередках ураження неможливо провести за короткий час без використання різноманітної техніки. Тільки широка механізація усіх видів робіт дає змогу своєчасно здійснити рятування потерпілих. Для проведення Р та ІНР можуть використовуватися всі типи будівельних та дорожніх машин, механізмів, техніки комунальногогосподарства району, міста.

Залежно від виду виконуваних робіт вони поділяються на такі групи:

- машини і механізми для розкриття завалених сховищ та укриттів, розбирання та розчищення завалів, піднімання, переміщення і транспортування вантажів (екскаватори, трактори, бульдозери, крани, самоскиди з причепами, блоки, лебідки, домкрати);

- пневматичний інструмент (бурильні та відбійні молотки), які використовуються для формування отворів у кам'яних, цегляних і бетонних стінах, перекриттях завалених сховищ з метою подавання в них повітря або для виведення тих, хто переховується там;

- обладнання для різання металу (газорізи, бензорізи, автогени,електрозварювальні апарати);

- механізми для відкачування води (насоси, мотопомпи, поливальні машинита авторозливні станції);

- засоби, котрі забезпечують транспортування чи переправляння через водну

- перепону основних машин і обладнання (причіпи-важковози, тягачі-трейлери, баржі, пороми, понтони тощо);

- ремонтні та обслуговуючі засоби (ремонтні майстерні, станції обслуговування, бензо-водозаправники, освітлювальні станції тошо).

Поряд з ефективним використанням машин і механізмів успішне проведення Р та ІНР досягається:

своєчасною організацією та безперервним проведенням розвідки, швидким виведенням формувань в осередки ураження для виконання завдань;

знанням та дотримання правил і заходів безпеки при проведенні робіт;

чіткою організацією взаємодії сил і засобів, залучених до робіт тавсебічним їх забезпеченням.

Також розглядають інші заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Захисні споруди призначені для захисту людей від наслідків аварії стихійних лих, а також від уражуючої дії зброї масового знищення і звичайних засобів ураження та впливу другорядних чинників ядерного вибуху. Захисні споруди розрізняють за призначенням:

а) для захисту населення, розміщення органів управління (командного пункту) і медичних закладів;

б) за місцем знаходження:

вбудовані, відокремлені, метрополітен, у гірських виробках.

в) за терміном будівництва:

зведені завчасно; швидкозведені.

г) за захисними властивостями:

найпростіші укриття (щілини відкриті і перекриті);протирадіаційні укриття (ПРУ);сховища.

У системі захисту населення особливе значення мають найпростіші укриття типу щілин. Це найбільш масові захисні споруди, шо можуть бути будовані населенням у найкоротший термін. Щілини будують відкритими і перекритими. Відкрита щілина зменшує ймовірність ураження ударною хвилею (в 1,2-2 рази), світловим випромінюванням і проникаючою радіацією.

Перекрита щілина захищає: від світлового випромінювання повністю, від ударної хвилі - у 1,5-3 рази, від проникаючої радіації і радіоактивного випромінювання - у 200-300 разів, а також надійно захищає від осколкових і кулькових бомб, від запалювальних засобів.

Відкрита щілина - це зигзагоподібна траншея з кількох прямолінійних ділянок довжиною до 15 м. Глибина її - 1,8 - 2,0 м; ширина: зверху - 1.1-1,3 м, на дні - 0.8 м. Будівництво щілини починається з розмітки і трасування, тобто визначення її плану на місцевості. Копають спочатку на ширину дна. В міру заглиблення поступово підрівнюють крутизну, доводячи до потрібних параметрів. Стінки (крутизну) щілини укріплюють дошками, жердинами, очеретом, іншими наявними матеріалами. Коли є час і в разі потреби, щілину перекривають колодами, шпалами або малогабаритними залізобетонними плитами. Зверху покриття влаштовують шар гідроізоляції з толю, руберойду, хлорвінілової плівки або утрамбовують шар глини і насипають шар грунту товщиною 50-60 см. У перекритій щілині роблять вхід з однієї або двох сторін з дверима і тамбуром. Для вентиляції встановлюють витяжну коробку.

Протирадіаційними укриттями (ПРУ) називаються негерметичні захисні споруди, що забезпечують захист людей в умовах надзвичайних ситуацій. До Пру можна віднести не тільки спеціально побудовані споруди, а й будівлі господарського призначення (погреби, підпілля, овочесховища), пристосовані під укриття, і звичайні житлові будівлі.

Захисні властивості укриттів визначаються коефіцієнтом послаблення радіації, що залежить від товщини огороджувальних конструкцій, властивостей матеріалу, з якого виготовлені конструкції, а також від енергії гамма-випромінювання. Наприклад, підвий дерев'яних будинків послаблюють радіацію в 7-12 разів, а кам'яних - у 200-300 разів.

У ПРУ.розрахованому на 50 чоловік і більше, повинно бути не менше двох виходів розміром 80х180 см, причому бажано, шоб вони були розташованів протилежних кінцях укриття під кутом 90° один до одного. Для підсиленнязахисних властивостей у приміщенні забивають вікна і зайві двері,

насипаютьшар грунту на перекриття і роблять, якщо треба, фунтову підсипку ззовні білястін, що виступають вище поверхні землі. Для герметизації приміщеньретельно замуровують тріщини, щілини, отвори у стінах і стелі, біля вікон ідверей, припасовують двері, оббивають їх повстю, ущільнюють дверні рамиваликом з повсті або з іншої м'якої тканини.Укриття, шо вміщує до 30 чоловік,провітрюється природною вентиляцією через припливний і витяжний короби.Для створення тяги витяжний короб встановлюють на 1,5-2 м вищеприпливного. На зовнішньому виводі вентиляційного короба роблять дашок, а вприпливному коробі - щільно підігнані засуви.

У пристосованих під укриття приміщеннях встановлюють бачки з водою з розрахунку 3-4 л на одну людину на добу, а в туалеті - виносну тару або влаштовують люфт-клозет з вигрібною ямою. Крім того, в укритті встановлюють нари (лавки) для відпочинку, стелажі для продуктів харчування. Освітлення - від електромережі або переносними електричними ліхтарями.

Сховище є найбільш надійним захистом від усіх уражуючих чинників: високих температур і шкідливих газів у зонах пожеж, вибухонебезпечних, радіоактивних і сильнодіючих отруйних речовин, обвалів і уламків зруйнованих будинків і споруд тощо, а також засобів масового ураження і звичайних засобів ураження. Воно обладнане комплексом інженерних споруд,що забезпечують необхідні умови життєдіяльності протягом певного часу.

5.6 Висновки.

З розглянутого матеріалу виявлено, що основні заходи охорони праці спрямовані на підвищення продуктивності праці внаслідок створення раціональних умов; зниження ризику отримання будь-яких травм в лабораторії, на дільниці при роботі з високотехнологічним термічним устаткуванням ;
зменшення витрати на ліквідацію наслідків нешасних випадків, аварій та техногенних катастроф.

ВИСНОВКИ

1. З’ясовано, що в роботах по даній проблемі відзначається, що в процесі виготовлення лопаток, а саме штампування та вальцювання, відбувається деформування поверхневих шарів, що призводить до формування текстури α-фази.
2. Виявлено, що в процесі виготовлення лопаток компресора рівень механічних властивостей не є достатнім, що потребує проведення додаткового зміцнення.
3. Розглянуто фізичну сутність нанесення покриття нітрид титану, яка полягає в конденсації у вакуумі на поверхні деталі речовини із газометалевої плазми із іонним бомбардуванням холодного катоду (метод КІБ).
4. Досліджено мікроструктуру титанового сплаву після різних видів зміцнювальної обробки та встановлено, що після проведення комплексної зміцнювальної обробки (ВП, УЗЗ та КІБ) структура покриття нітриду титану має однаковий характер по перетину і для якої характерна стовпчаста форма кристалів, напрямок росту яких перпендикулярний до поверхні лопатки.
5. При використанні рентгеноструктурного аналізу виявлено, що покриття TiNна лопатках текстуровано з перевагою орієнтацією зерен в напрямку [111] відносно поверхні лопатки. Найкраще розмірне і структурне співвідношення спостерігається між площинами (111) ГЦК гратки нітриду титану та (0001) ГЩП гратки α-фази титанового сплаву.
6. Розглянуто вплив азоту на періоди елементарної комірки («*a*»і «*c*») та виявлено істотне збільшення параметру «*c*», що свідчить про утворення твердого розчину втілення в ГЩП гратці Ті, що призводить до додаткового зміцнення поверхневого шару.

7. Встановлено, що оптимальним режимом обробки є ВП+УЗЗ з наступним нанесенням покриття TiN, що формує сприятливі характеристики поверхневого шару лопаток компресора зі сплаву ВТ8, що значно підвищує ерозійну стійкість та зносостійкість.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Баранчиков В.И. Обработка специальных материалов в машиностроении: справочник / В.И. Баранчиков, А.С. Тарпанов, Г.А. Харламов. – М.: Машиностроение, 2002. – 264 с.

2. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни “Експертні дослідження” для студентів спеціальності 6.050403 “Прикладне матеріалознавство” всіх форм навчання /Укл.: В.С.Вініченко, О.В.Лисиця - Запоріжжя: ЗНТУ, 2012. – 82 с .

3. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. КОЛАЧЕВ Б А., ЕЛАГИН В. И. Изд-во «Металлургия», 1972, 480 с.

4. Каинов А.Б. Генетика усталостного разрушения легких сплавов в связи с пластическими деформациями при формообразовании элементов конструкций: Автореф. дис. … канд.техн. наук.- М. ; 1986.-20с.

5. Нанесение износостойких покрытий на быстрорежущий инструмент. – А.А. Внуков, Л.В. Марков, Л.А. Лаврова, Н.Ю. Бердышев. – К.: Техника, 1992. – 143 с.

6.7. Русаков А.А. Рентгенография металлов. – М.: Атомиздат, 1977. – 480 с.

8. Русаков А.А. Рентгенография материалов // М.: Атомиздат.-1977. -480с.

9. Рентгенографический и электронно-оптический анализ //Горелик С.С., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А. –М.:Металлургия, 1979, -366с.

10. Жеманюк П.Д., Ольшанецкий В.Е., Степанова Л.П и др. Влияние технологии изготовления и характер текстурованности лопаток ГДТ //Металознавство та обробка металів, 1998.-№3. –С.22-27.

11. Колачев Б.А.Физическое металловедение титана. – М.: Металлургия, 1974. – 184 с.

12. Носова Г.И. Фазовые превращения в сплавах титана. – М.: Металлургия, 1968. – 180 с.

13. Металлография титана. – Борисова Е.А., Бочвар Г.А., Брун М.Я. и др. – М.: Металлургия, 1980. – 464 с.

14. В.А Богуслаев, П.Д. Жеманюк, В.К. Яценко, Л.П. Степанова, О.Л. Лукьяненко. Повышение несущей способности лопаток компрессора. – Вестник двигателестроения. – 2003. - № 1, с. 41-46

15. Алёхин В.П. Физика прочности и пластичности поверхностных слоёв материалов. – М.: Наука, 1983. – 280 с.

16. Коллингз Е.В. Физическое металлаведение титановых сплавов. – М.:Металлургия, 1988. -223с.

17. Рудницький Н.М. До оцінки впливу залишкових напруг і зміцнення поверхневого шару на усталостную міцність деталей //Пробл. міцності, 1981.-№10.-С.27-34.

18. Нанесення зносостійких покриттів на швидкорізальний інструмент //Внуков А.А., Марков Л.В., Лаврова Л.В., Бердишев Н.Ю. –К.: Техника, 1992. -143с.

19. Шаскольская М.П.Кристаллография. –М. 1976. -391с.

20. Бабад-Захрапин А.А., Кузнєцов Г.Д. Текстурованные высокотемпературные покрытия. –М.:Атомиздат. -176с.