

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Фізико-математичний, інженерно-фізичний
 (повне найменування інституту, факультету)

Фізика матеріалознавства
 (повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістр
 (ступінь вищої освіти)

на тему Дослідження впливу мезобачення у середовищі
важких металів на ГК фізико-математичного
матеріалознавства

Виконав: студент(ка) VI курсу, групи ІР-2184

Спеціальності 132 матеріалознавство
 (код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Соломонов І.К.
 (прізвище та ініціали)

Керівник Влас Д.В.
 (прізвище та ініціали)

Рецензент Марашевський Є.М.
 (прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет фізико-технічний, інженерно-фізичний
 Кафедра матеріалознавство
 Ступінь вищої освіти магістр
 Спеціальність прикладне матеріалознавство
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) _____
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

« 14 » 12 20 18 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Соломонов Іван Космачукович
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження впливу зчеплення дисперсних покриттів на тп фізико-механічні характеристики

керівник проекту (роботи) Іван Р.В. Золотий, к.б.н.
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 14 » листопада 2018 року № 228

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) зразки для дослідження ВКДР, умови експлуатації устаткованих покриттів, вимоги до матеріалів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Дослідження устаткованих покриттів в лабораторних умовах 2. Матеріали та методи дослідження 3. Результати дослідження 4. Оцінка праці в роботі 5. Економічна оцінка

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

Склад вибіркового матеріалу, результати дослідження механічних властивостей, результати дослідження тепло-фізичних властивостей

7. Дата видачі завдання « 04 » 05 20 19 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Студент(ка)

Соломонов І.К.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

Брог Д.В.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 69 сторінки, 31 рисунка, 7 таблиць, 24 джерела.

Мета роботи: удосконалення ущільнювальних покриттів на нікелевій основі, що дозволить підвищити температуру їх експлуатації та тривалий час зберігати величину зазорів лабіринтного ущільнення.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що запропоноване легування приводить до формування оксидних та інтерметалідних сполук, що приводить до підвищення експлуатаційних характеристик матеріалу, а різниця температурного коефіцієнту лінійного розширення між матеріалом покриття та основою є мінімальною.

Практична цінність результатів роботи полягає в тому, що запропоноване вирішення дозволяє підвищити температуру експлуатації ущільнювального покриття, що працює в умовах високотемпературного газового потоку.

УЩІЛЬНЮВАЛЬНЕ ПОКРИТТЯ, ЛЕГУВАННЯ, ТЕМПЕРАТУРНИЙ
КОЕФІЦІЄНТ ЛІНІЙНОГО РОЗШИРЕННЯ, ЕРОЗІЙНА СТІЙКІСТЬ,
МІКРОТВЕРДІСТЬ, ЛАБІРИНТНЕ УЩІЛЬНЕННЯ, ЩІТКОВЕ
УЩІЛЬНЕННЯ

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Застосування ущільнювальних покриттів в газотурбінних двигунах	7
1.1 Види ущільнювальних покриттів, що застосовують в ГТД	9
1.2 Вимоги до УП що застосовуються в турбінах ГТД.....	12
1.3 Особливості легування ущільнювальних покриттів що працюють в умовах високотемпературного газового середовища.....	14
2 Матеріали та методи дослідження	22
2.1 Матеріали для досліджень.....	22
2.2. Методика нанесення покриттів.....	25
2.3 Дослідження температурного коефіцієнта лінійного розширення матеріалів	27
2.4. Дослідження твердості та мікротвердості	28
2.5. Дослідження адгезійної міцності.....	29
2.6 Дослідження ерозійної стійкості	30
2.7 Дослідження мікроструктури	30
2.8 Визначення теплофізичних характеристик	31
3 Результати досліджень.....	32
3.3 Результати досліджень механічних властивостей	41
3.4 Результаті досліджень експлуатаційних властивостей	43
4 Охорона праці в галузі	48
4.1 Аналіз потенційних небезпек.....	48
4.2 Заходи забезпечення безпеки.....	49
4.3 Заходи забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці.....	51
4.4 Заходи з пожежної безпеки та забезпечення безпеки в разі виникнення надзвичайних ситуацій	55
4.4.1 «Заходи з пожежної безпеки» розробляється відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».	56

5 Економічна частина	60
5.1 Тенденції розвитку світового ринку технологій.....	60
5.2 Техніко-економічні розрахунки.....	62
Висновок.....	70
Список літератури	71
Додаток А	74

ВСТУП

Термічне наплавлення – це група або сімейство процесів, в котрих певне насичене джерело тепла використовується для розплавлення вихідних матеріалів; в той же час їм надається кінетична енергія за допомогою струменю технологічного газу для переносу розплавлених частинок до підготовленої поверхні. Коли гарячі та володіючі високою енергією частинки ударяються об поверхню деталі що покривається, вони швидко тверднуть. По мірі того як все нові частинки падають на поверхню деталі, товщина покриття наростає. Теплова енергія для наплавлення може бути згенерована хімічно (при згоранні палива в кисні або на повітрі), або шляхом електричного нагрівання промислових газів.

Ущільнювальні покриття застосовуються для зменшення величини радіального зазору між ротором і статором, що призводить до підвищення температури газу, а отже і збільшення коефіцієнту корисної дії авіадвигуна. При цьому до них пред'являється ряд вимог, з одного боку вони повинні забезпечувати високу адгезію і ерозійну стійкість матеріалу ущільнювача з матеріалом основи в умовах підвищених температур, а з другого боку - низьку роботу зрізування, що забезпечить мінімальні зазори і дозволить суттєво зменшити зношування торцевої поверхні лопатки.

Властивості і працездатність покриттів істотно залежать від залишкових напружень, які виникають в процесі їх отримання, а також значною мірою від структурних чинників. Утворення в покритті певної структури з наявністю тугоплавких інтерметалідів і нітридів може значною мірою підвищити температурні режими і ерозійну стійкість працюючих деталей. Тому встановлення впливу хімічного складу лігатури на наявність фазових складових в структурі покриттів необхідно приділяти особливу увагу.

1 ЗАСТОСУВАННЯ УЩІЛЬНЮВАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ В ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНАХ

1.1 Радіальні зазори в конструкції ГТД

Радіальні зазори між ротором і статором турбіни необхідні для нормальної роботи двигуна та значно впливають на її ефективність. Цей вплив збільшується при збільшенні як абсолютного, так і відносного значення радіального зазору.

Є дві основні причини зміни радіальних зазорів:

- зміна радіальних зазорів внаслідок зносу;
- зміна радіального зазору від темпу прогріву деталей турбіни.

Знос торцевої поверхні робочої лопатки є основною причиною збільшення радіального зазору між ротором і статором. Знос ротора призводить до збільшення робочого зазору і зниження ККД на всіх режимах роботи двигуна. Знос корпусу найчастіше буває місцевим обумовлений неідеальною формою деталі і зазвичай не має таких значних наслідків для ефективності турбіни.

Основними причинами зносу торця робочої лопатки є тертя (врізання в корпус) і ерозійний знос. Ерозійний знос торця лопаток в процесі експлуатації стає головною причиною неконтрольованого збільшення радіального зазору для першої ступені.

Темп прогріву характеризується величиною - постійна часу τ .

(1.1)

$$\tau = mc / (aF)$$

де m – маса;

c – питома теплоємність матеріалу;

a – коефіцієнт тепловіддачі;

F – площа поверхні.

Масивні деталі або деталі які мають меншу інтенсивність тепловіддачі (наприклад, диски) нагріваються і охолоджуються повільніше, а деталі з меншою масою або з великим коефіцієнтом тепловіддачі - швидше (наприклад, корпус). Як показує аналіз, зміни розмірів деталей під час роботи викликані в основному впливом температури [1]. Корпус в межі являє собою швидко реагує на зміну режиму двигуна тонку оболонку і зазвичай досить швидко змінює свою температуру і відповідно розмір, при зміні температури потоку газу в проточній частині. Ротор являє собою масивну конструкцію, до того ж він переважно знаходиться в середовищі охолоджуючого. Тому теплова інерційність ротора істотно вище що призводить до збільшення радіального зазору[1].

Багато в цих процесах залежить від темпу зміни режиму роботи двигуна, на рисунку 1.1 наведена залежність величини радіального зазору від часу та режиму роботи.

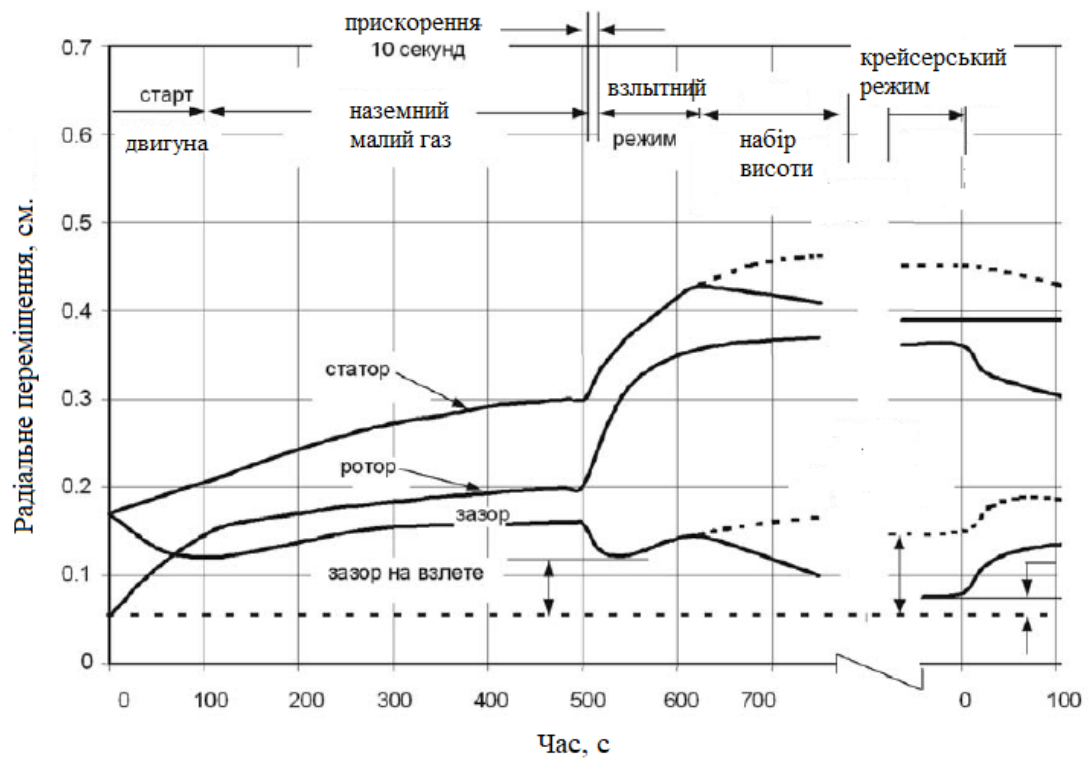


Рисунок 1.1 – Приклад зміни радіального зазору на різних режимах роботи двигуна

Ліквідація мимовільних витоків газу і охолоджуючого повітря являє собою одну з найбільш важливих і найбільш значних по одержуваному ефекту завдань при проектуванні турбіни. Витік кожного відсотка розходу газу в радіальний зазор (як робочого колеса, так і соплового апарату) призводить до рівного за величиною зменшенню ККД ступені турбіни.

Витік в проточну частину турбіни кожного відсотка охолоджуючого повітря, що відбирається за компресором високого тиску призводить до збільшення питомої витрати палива на 0,3% і збільшення температури газу перед ротором ТВД на 10 °С. Крім того, сам витік охолоджуючого повітря в основний потік, особливо в область великих швидкостей здатна привести до додаткових втрат ККД – до 1,5% ККД ступені на кожен відсоток витоку охолоджувального повітря.

1.1 Види ущільнювальних покриттів, що застосовують в ГТД

В газотурбінних двигунах для герметизації проточної частини в компресорі та турбіні використовують наступні види ущільнень:

- лабіринтне ущільнення (далі – ЛУ) (рис.1.3);
- щіткові ущільнення (далі – ШУ) (рис. 1.5);

У конструкції турбіни компресора і вільної турбіни ГТД сімейства ТВ3-117 лабіринтні ущільнення застосовують як з метою мінімізації перетікання газу між ступенями, так і з метою ущільнення масляних порожнин (рис. 1.2).

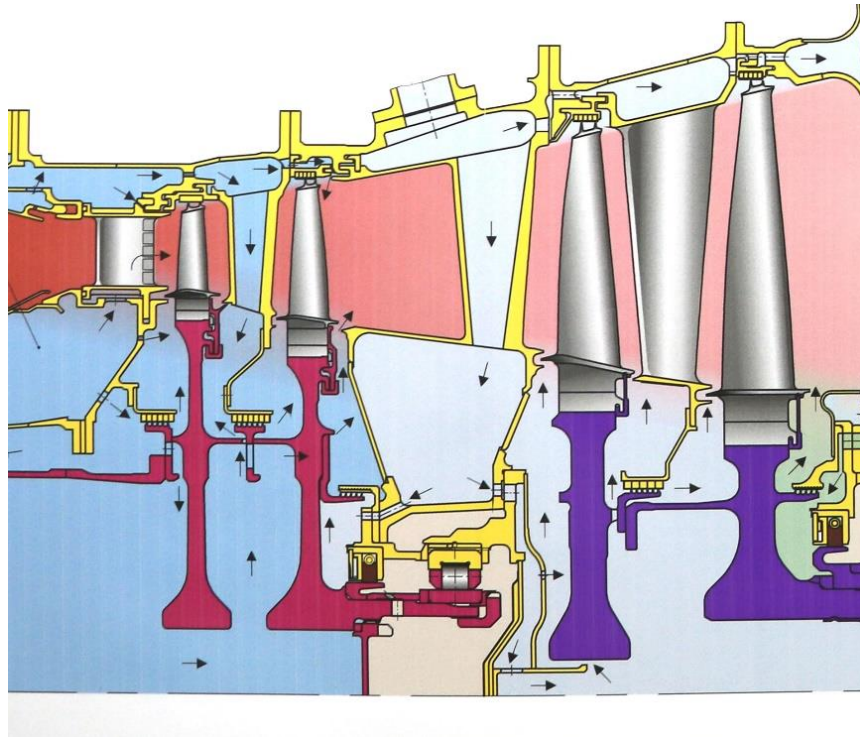


Рисунок 1.2 – Схема охолодження турбіни ГТД сімейства ТВ3–117

Ефективність ЛУ залежить від величини радіального зазору, числа гребінців і їх конфігурації. Однак мінімальна величина радіального зазору визначається технологією виготовлення, радіальним переміщенням ротора, а також залежить від прогріву статорних і роторних вузлів.

У лопаткових машинах ГТД (компресорах і турбінах) ущільнення розташовують над диском робочого колеса, що покриває, між окремими ступенями, по кінцях проточної частини машини, у підшипникових вузлах і в інших місцях. Робота лабіринтного ущільнення (рис. 1.4) заснована на використанні процесу дроселювання газу через групу послідовно розташованих елементів ущільнення. Кожний елемент ущільнення складається із щілини, у якій статичний тиск газу частково перетворюється в динамічний напір, і камери, у якій динамічний натиск перетворюється в теплову енергію через втрати на вихроутворення й тертя.

Крім лабіринтових, застосовують контактні ущільнення, що працюють при малих окружних швидкостях і невеликих перепадах тиску. Зазвичай вони виготовляються на основі графіту, що вимагає великої трудомісткості і

точної збірки. Контактні ущільнення виходять з ладу при підвищених вібраціях або осьовому переміщенні ротора.

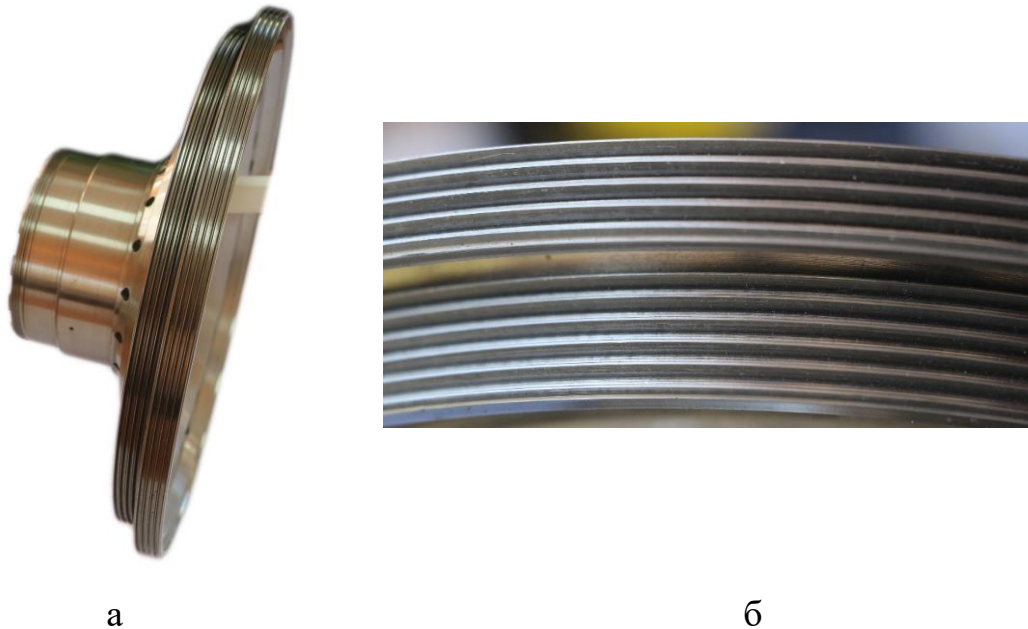
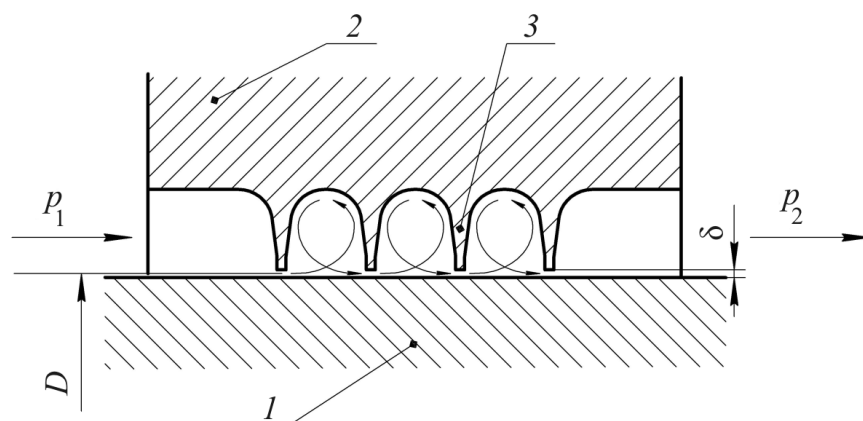


Рисунок 1.3 – Загальний вид диска ГТД (а) і гребінці лабіринтного ущільнення диска ГТД сімейства ТВ 3-117 (б)



1 – роторна частина; 2 – статорна частина; 3 – гребені лабіринтного ущільнення; D – середній діаметр зазору; δ – зазор в ущільненні; p_1 і p_2 – тиск газу відповідно перед лабіринтом, на стороні високого тиску, і за лабіринтом

Рисунок 1.4 – Схема плинугазу в лабіринтному ущільненні

Беручи до уваги переваги і недоліки цих типів ущільнень, на сучасних авіаційних ГТД стали застосовувати щіткові ущільнення, що мають високу ефективність [11].

Для газотурбінних двигунів ЩУ представляє собою кругле кільце, де пучок гнучких волокон обжатиї або зварений між двома робочими кільцями під кутом 45° . Так як ЩУ властива гнучкість і податливості, вони здатні значно зменшувати виток за рахунок своєї пристосованості до конструкції і змін положення ротора в турбомеханізмах.

Особлива увага повинна бути спрямована на тривалу експлуатацію і довговічність ЩУ при роботі в ВМД. Однак існує проблема радіального зносу волокон і ротора, а особливо, зносу в умовах змінних режимів. зносі дроту сприяє різниця осьового тиску через щітку [11].

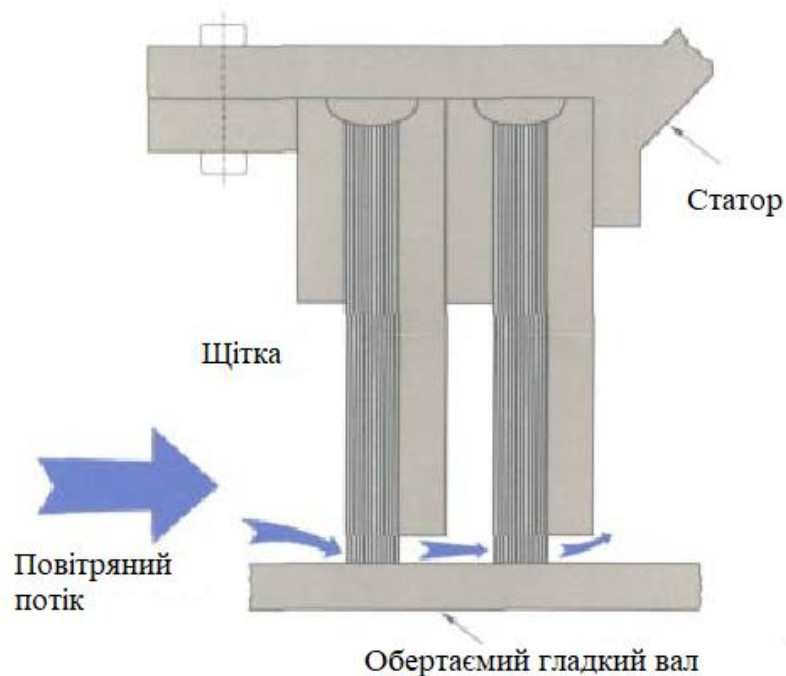


Рисунок 1.5 – Щіткове ущільнення

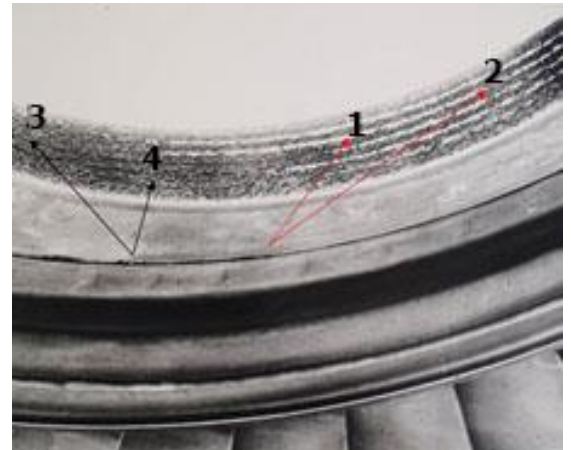
1.2 Вимоги до УП що застосовуються в турбінах ГТД

В даний час при виробництві ГТД широко застосовуються ущільнювальні покриття на основі нікелю. Жорсткі експлуатаційні умови роботи ущільнюючих покриттів призводять до різного роду пошкоджень (рис.1.6), основні види пошкоджень розглянуті в роботі [7], також виконано

аналіз підвищення ефективності турбін авіаційних двигунів шляхом вдосконалення складу ущільнювальних покриттів, що застосовуються в лабіринтних ущільненнях.



а



б

1, 2 – сліди інтенсивного врізання, 3, 4 – сліди торкання

Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд покриття КНА після механічної обробки (а) і наробки в експлуатації (б)

Встановлено, що до таких покриттів висувається ряд суперечливих вимог, з одного боку, для запобігання схоплювання або інтенсивного зношування елементів ротора на початковому етапі експлуатації двигуна покриття повинно бути добре вироблюваним і, відповідно, характеризуватися невисокою твердістю. З іншого боку, для збереження мінімальних зазорів в ущільненні і, тим самим, забезпечення необхідної енергетичної ефективності газотурбінного двигуна покриття повинне володіти високим опором ерозионному руйнуванню під дією агресивного газового потоку. Тобто, матеріал повинен мати здатність до зміцнення в процесі тривалого періоду експлуатації. Також необхідно забезпечити високу жаростійкість ущільнювальних покриттів, оскільки в гарячому тракті двигуна можливо інтенсивний розвиток високотемпературної газової корозії.

1.3 Особливості легування ущільнювальних покриттів що працюють в умовах високотемпературного газового середовища

На сьогоднішній день на авіадвигунобудівних підприємствах, зокрема «Мотор Січ», для зменшення радіального зазору та як наслідок зменшення витрат палива широко використовуються ущільнювальні покриття типу КНА-82 із експлуатаційною стійкістю до температур 900-950°C. Проте в умовах жорсткої конкуренції конструктори збільшують температуру на вході в турбіну що потребує удосконалення матеріалів ущільнювальних покриттів, які б зберігали вихідні експлуатаційні та фізико-механічні властивості при більш високих температурах на рівні 1100-1200 °C.

Підвищення високотемпературної стійкості і, загалом, комплексу експлуатаційні та фізико-механічні властивостей покриттів типу КНА-82 може забезпечуватись удосконаленням їх хімічного складу тобто легуванням окремими лігатурами, які б сприяли покращенню термічної стійкості поверхневих оксидних шарів із одночасною реалізацією контрольованих поетапних фазових перетворень що сприяє поліпшенню ерозійної стійкості та міцності сформованих покриттів.

Для створення жаростійких покриттів використовують сплави на основі Ni–Cr–Al. Висока жаростійкість цих сплавів забезпечується утворенням стабільних оксидних плівок, таких як Cr_2O_3 і Al_2O_3 . Тобто такі сплави є стійкими до високотемпературної корозії. Ведення РЗМ до складу покриття позитивно впливає на їх властивості оскільки вони є рафінуючими добавками. Внаслідок хімічної активності, вони нейтралізують шкідливий вплив домішок кисню та сірки, при утворенні з ними тугоплавких хімічних з'єднань. Також вони є поверхнево-активними елементами які розташовуються на поверхнях поділу фаз (границі зерен, границі блоків, міжфазні границі (γ/γ')-фаз тощо). Вони позитивно впливають на структурну

стабільність сплавів, зменшують їх ліквідаційну неоднорідність, попереджують утворення шкідливих структурних складових (ТПУ фази, μ -фази тощо).

Введення РЗМ дозволяє додатково підвищити основні характеристики сплавів такі як довговічність та жаростійкість.

Ітрій має ряд технологічних переваг у порівнянні з іншими РЗМ: високи температури плавлення (1550 С) і кипіння (3000 С), що дозволяє вводити його через електродне покриття. Оскільки по спорідненості до кисню [8] ітрій (Y_2O_3 утворюється при $\Delta G = -1800$ кДж/моль) перевершує інші РЗМ (La_2O_3 - $\Delta G = -1705,8$ кДж/моль; CeO_2 - $\Delta G = -1025,5$ кДж/моль), він є також і більш активним модифікатором. Крім поліпшення механічних властивостей сталей і сплавів легування ітрієм сприяє розкисленню, рафінуванню й зменшенню вмісту неметалічних включень у наплавленому матеріалі. На прикладі сплаву ЖС6К можна зазначити що введення до сплаву 0,01-0,05%Y підвищує його термічну стабільність, уповільнює коагуляцію основної зміцнювальної γ' -фази та утворення подвійного карбіду M_6C несприятливої морфології [11]. Введення ітрію пригнічує утворення оксиду NiO, який не має захисних властивостей та сприяє утворенню на поверхні металу захисних оксидів $Ni(Cr, Al, Y)_2O_4$ та $(Cr, Y)_2O_3$ [9].

Але введення ітрію позитивно впливає на жаростійкості тільки при наявності хрому. Хром підвищує опір сульфідної корозії сплавів Ni-Co-Cr-Al-Y з невисоким вмістом алюмінію та рівномірно розподіляється в γ -твердому розчині. В сплавах з високим вмістом алюмінію підвищення вмісту хрому не призводить до зростання опору корозії [10].

Окрім сплавів на нікелевій основі для покриттів, які експлуатуються при температурах 1100-1200°C можливо б було використання жаростійких сплавів на основі хрому. Але вони характеризуються підвищеною крихкістю при температурах нижче 300-350°C. Крім того, в процесі тривалих нагрівань при високих температурах хромові сплави схильні до поглинання азоту, що негативно позначається на їх низькотемпературній пластичності [9].

Окрім властивостей жаростійкості, корозійностійкості ущільнюючі покриття повинні в процесі експлуатації задовільно припрацьовуватись. Ущільнюючі покриття на основі Ni-C та Ni-Cr-Al, які розпилені на підложку BN. Фази в обох покриттях рівномірно розподілені. Отже покриття Ni-Cr-Al має високий коефіцієнт тертя та володіє самозмащувальними властивостями.

Підвищення експлуатаційних характеристик сплавів, до яких висувають високі вимоги до жаростійкості застосовують легування РЗМ металами, зокрема ітрієм. Застосування ітрію дозволяє підвищити жаростійкість покриттів, знижує їх теплопровідність, забезпечує ерозійну стійкість і задовільну припрацьовуваність.

1.4 Спосіб нанесення покриття

На АО «МОТОР СИЧ» застосовують серійні ущільнювальні покриття на основі модифікованої нікель-кремнієвої губки і твердого змащення (графіт + нітрид бора) типу КНА. Ці покриття наносять газополуменевим методом між ротором та статором двигуна (рис.1.8).

Газополуменеве напилення – є одним з найбільш доступних методів газотермічного напилення. Такий варіант напилення являє собою створення малих краплин розтопленого металу і нанесення їх на підготовлену поверхню, де вони формують суцільне покриття.

Покриття - це шаруватий матеріал, що складається з сильно деформованих напилених частинок і з'єднаних між собою по контактним поверхням звареними ділянками діаметром D_x та площею F_x . Міцність самих зварних ділянок залежить від кількості очагів захоплення на площі F_x у період удару та деформації частинок та визначається розвитком хімічної взаємодії матеріалів в контакті.

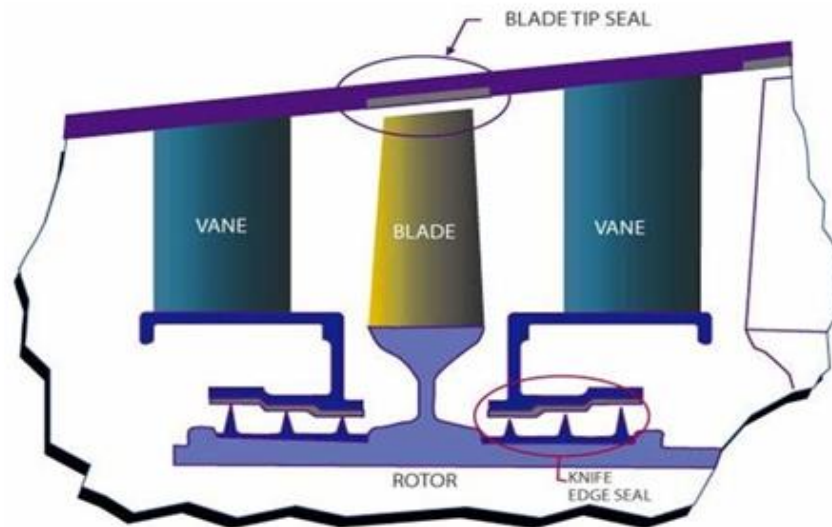


Рисунок 1.8. - місця розташування ущільнювальних покриттів у секції компресора ГТД

Взаємодія матеріалу основи з матеріалом часток покриття на кожній елементарній ділянці поверхні контакту можна умовно поділити на три послідовно протікаючих стадій:

- 1) зближення матеріалів до утворення фізичного контакту між ними тобто на відстань, близькі до величини параметра решітки;
- 2) активація контактуючих поверхонь і хімічну взаємодію матеріалів на кордоні розділу фаз;
- 3) об'ємне розвиток взаємодії, що веде до проникнення матеріалів частинки і основи внаслідок дифузійного масопереносу крізь кордон з вже встановленим хімічними зв'язком.

При напиленні покриття розплавленні частинки вдаряються о холодну поверхню виробу, тому їх розтікання та деформація супроводжується затвердінням (рис. 1.9 а).

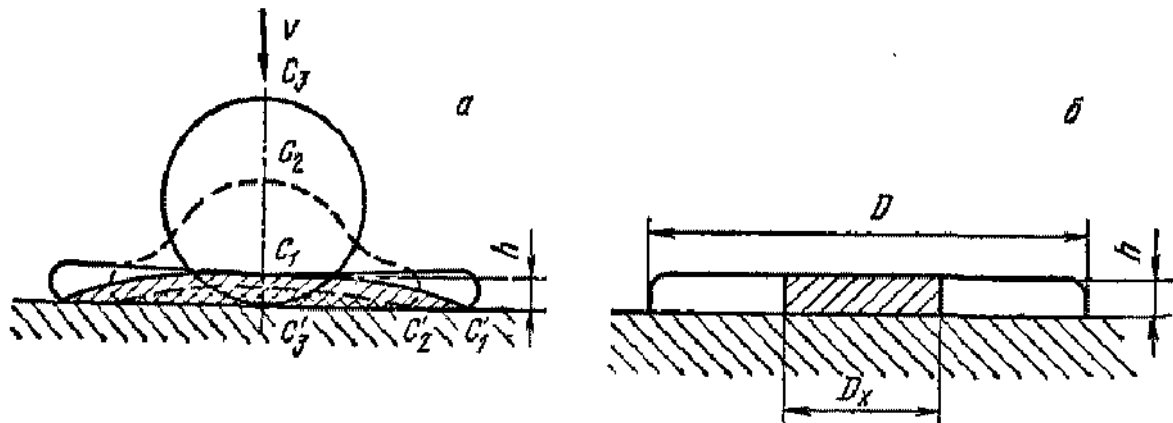


Рисунок 1.9 – Схема деформування та одночасного затвердження розтопленої частинки при ударі о плоску поверхню (а) та кінцева форма закристалізованої частинки (б) на поверхні

По мірі розтікання вже застиглий матеріал частинки підлягає тиску з сторони ще не застиглого матеріалу частинки. Розплавлена частина під впливом сили інерції прижимає затверділий матеріал частинки к поверхні виробу до моменту повного затвердження частинки закінчується одночасно із зникненням рідкої фази. Внаслідок затвердження частинка зберігає свою форму і в покритті. При напиленні під прямим кутом на плоску гладку поверхню основи частинки зазвичай твердіють у вигляді плоского тонкого диску (рис. 2.3 б) з відношенням висоти диска h к діаметру d до удару рівним $1/10 - 1/20$. У реальному покритті форма закристалізованої частинки більш складна, оскільки вони вдаряються об шереховату поверхню виробу та під різними кутами.

Термічний цикл сферичної частинки, яка деформується внаслідок кінетичної енергії удару (рис. 1.10) можна розділити на 2 етапи: 1) затвердівання частинки, час впродовж якого контактна температура T_k залишається незмінною а над рухомим фронтом кристалізації знаходиться рідина; 2) охолодження твердої частинки до температури основи [6].

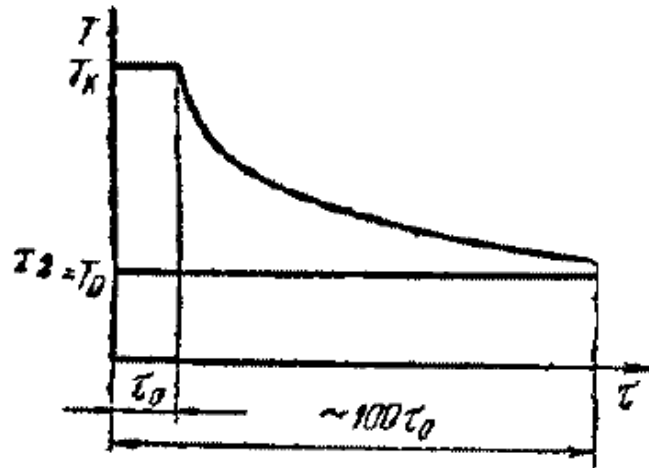


Рисунок 1.10 – Схема термічного циклу

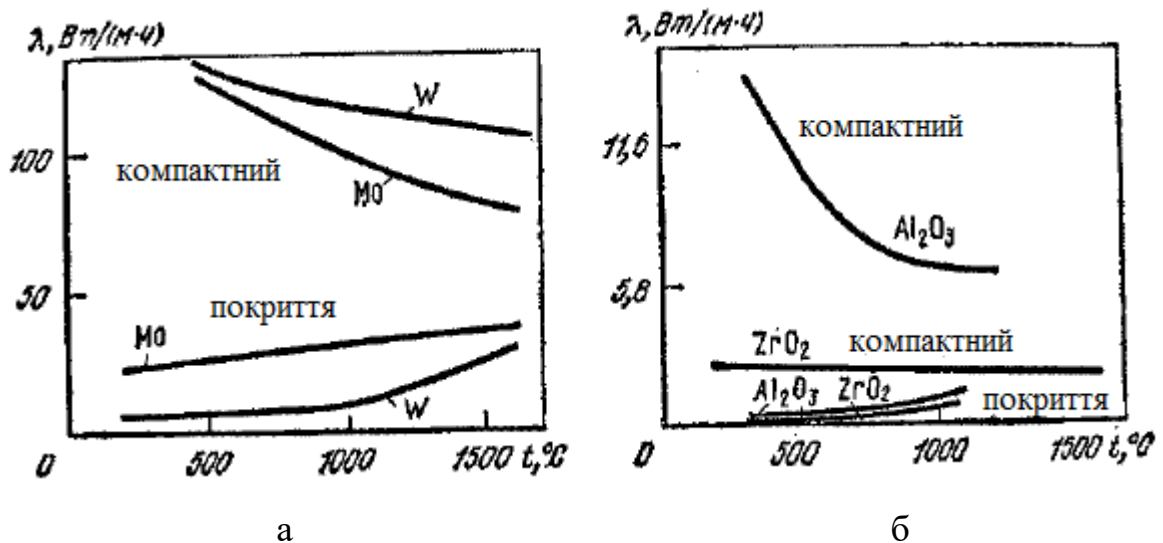
Перенесення тепла в покриттях визначається їх шаруватою структурою, великою кількістю пор, тріщин та границь розділу між частинками і здійснюється за наступними механізмами:

- 1) електронами по тілу самих металевих частинок;
- 2) за рахунок фонові теплопровідності в частинках та по ділянкам зварювання між частинками;
- 3) теплопровідність газу, який знаходиться в порах;
- 4) лучковим теплообміном в порах при нагріві покриття до високих температур.

Оскільки покриття це пористий матеріал а передача тепла по механізмам 3 та 4 відбувається повільно, сумарний коефіцієнт теплопровідності покриття набагато нижче чим у компактного матеріалу. По мірі збільшення температури змінюється вклад цих механізмів тому теплопровідність покриття в залежності від температури має складний характер (рис. 1.11).

За рахунок зниження теплопровідності температура контакту між частинками в покритті значно вища, чим температура контакту при напиленні на компактний матеріал. Міцний зв'язок напилених частинок з компактною основою настає лише при певній температурі контакту T_k . Отже міцний зв'язок між частинками в покритті відбудеться якщо T_k між

частинками в покритті буде вище або рівна температура контакту при якій частинки міцно з'єднуються з основою [6]



а – метали; б – окисли.

Рисунок 1.11 – залежність теплопровідності компактних та напилених матеріалів від температури

Найбільш небезпечною зоною є шари які знаходяться поблизу з основою, Міцність зчеплення частинок в цих шарах знижена оскільки на взаємодію частинок впливає підшар який має низьку теплопровідність.

Процес формування покриття призводить до появи залишкових напружень які збільшуються по мірі збільшення товщини покриття та знижує міцність покриття. Тому покриття товщиною більше 1 мм схильні до самовільного відшаровування.

Залишкові напруження є наслідком термічних умов напilenня та різницею в теплофізичних властивостей матеріалу основи та покриття та фазових перетворень. Вони є наслідком процесів кристалізацій окремих частинок так і усього покриття в цілому.

При напilenні в покриттях із-за особливостей формування шару покриття в них діють напруження всіх видів, таких як: напруження 1 роду які знаходяться в макрооб'ємі; напруження 2 роду які виникають при локальній

нерівномірності деформацій окремих зерен; напруження 3 роду діють в межах окремих зерен які є наслідком нерівної відстані між атомами ґратки.

Зазвичай покриття руйнуються під дією напружень першого роду а границя руйнування проходить між частинками. Напруження другого та третього роду діють в об'ємі закристалізованого матеріалу. Рівень цих напружень буде збільшеним оскільки пов'язан з ударом, деформації та через мірно швидкою та нерівномірною кристалізацією. Швидке охолодження та короткий час взаємодій частинок не дозволяє релаксувати напруження як в самих частинках так і по границям між ними у час напilenня покриття. Тому високий рівень залишкових напружень в покриттях зберігається після напilenня та охолодження покриття [6].

Є різні технології які дозволяють регулювати залишкові напруження в покриттях а як наслідок їх міцність:

- узгодження ТКЛР матеріалу основи та покриття;
- зниження модуля пружності покриття (шляхом ведення до складу пластичного матеріалу);
- зміна товщини покриття, та використання багат шарових покриттів з зміною шарів з різних матеріалів;
- зміна форми напильоюмої поверхні, придання певного радіуса кривизни усім гострим кутам.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Матеріали для досліджень

На АТ «МОТОР СІЧ» (далі - МС) застосовують ущільнювальні покриття типу КНА на основі модифікованої нікель-кремнієвої губки і твердого змащення (графіт + нітрид бора).

Так як покриття КНА працездатне до температури 900°C і в зв'язку з необхідністю розробки нових матеріалів які працюють при більш високих температурах у вузлах турбіни, було розроблено покриття КНА-82. Даний матеріал представляє собою як основу – покриття КНА яке доповнене порошком ВКНА (ТУ 48-5-226).

Таблиця 2.1 - Технічні вимоги матеріалу

Назва матеріалу	Марка матеріалу	Позначення стандарту або ТУ
Нікелевий порошок	ПНЭ-1 або AMPERWELD 0403.30 NIMP АЭ-П-БТ	ГОСТ 9722 або ТУ 1793-001-07622839 ТУ 1793-007-07622839
Карбамід (сечовина)	А	ГОСТ 2081 ДСТУ 7312
Кремній кристалічний	КР-00, КР-0	ГОСТ 2169
Алюмінієвий порошок	АСД-4	ТУ 48-5-226
Графіт	П	ГОСТ 8295
Нітрид бору	Гексагональний марки А	ТУУ 26.8-00222226- 007

Продовження таблиці 2.1

Силікат натрію (рідке скло, доведене по серійному ТП до густини 1,48...1,5 г/см ³ , модуль 2,5...3,0)	А, Б	ГОСТ 13078
Електрокорунд зернистістю	32...40 або 63...100	ГОСТ 3647 або ТУУ 26.8-00222226-016

Виготовлення механічної суміші порошків (шихти) для газополуменевого напилення. Просіяти порошки нікелю, кремнію крізь сито 0,10 і графіту крізь сито з сіткою 0,25 по ГОСТ 6613-86, порошок карбаміду через сито 1,0 по ГОСТ 6613-66. Приготування суміші здійснювати шляхом механічного перемішування порошків в співвідношенні по вазі: 97,5 .. 98,0% нікелю, 2,0 ... 2,5% кремнію, 10% сечовини поверх 100% суміші. Змішування порошків проводити в змішувачі з ексцентричною віссю обертання з добавкою «жучків» у кількості 30% від ваги компонентів що змішуються протягом 8 годин. Після змішування провести відпал суміші в середовищі дисоційованого аміаку при температурі 950°C протягом 4 – 4,5 год. Спечена суміш повинна бути однорідного сірого кольору у вигляді брикету. Відпалену суміш подрібнити, просіяти крізь сито 0,10. В подрібнену суміш додати нітрид бору (12%), графіту (2%), алюмінію (1%). Хімічний склад шихти повинен відповідати вимогам вказаним в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Хімічний склад шихти

Масова доля елементів, %				
Ni	S	Al	NB	Графіт
Основа	1,4 – 2,5	0,3 – 1,2	7 – 13	1,5 – 2,5

Виготовлена шихта повинна зберігатися в закритій тарі не більше 30 днів. Після закінчення терміну шихту просушити при температурі 100...150°C протягом 1,5 – 2 год. На тарі повинна бути бірка, на якій повинні вказуватися найменування шихти, дата виготовлення, підпис відповідальної особи, термін придатності [2].

Із готової шихти (стержневої суміші) виготовляють стрижні шляхом механічного перемішування порошкової суміші з силікатом натрію в співвідношенні: порошкової суміші – 1000г, силікату натрію – 240г.

Стержні отримують видавлюванням стержневої суміші в прес формі крізь філь'єру діаметром 4,5 мм. Довжина стержнів 400-600мм. Сушку стержнів проводити поступово: витримати не менше 4-х год. при 50±10°C протягом 30-60 хв., 70±10°C протягом 30-60 хв., 100±10°C протягом 2,5 – 3 год., 200±10°C протягом 30 – 60 хв. Охолодження проводити із шафою до температури 60...70°C. Контроль стержнів проводиться візуально. Допускаються повздовжні розшарування. Термін зберігання стержнів – 2 місяці. Після закінчення терміну придатності стержні просушити [2].

В умовах сучасної конкуренції конструктори збільшують температуру газів в турбіні до 1100 ... 1200 ° С що буде приводити до катастрофічного розвитку газової корозії і руйнування покриття. У зв'язку з цим, для підвищення стійкості ущільнювальних покриттів було запропоновано додатково легувати покриття КНА-82 лігатурою з багатокомпонентним складом Co-Ni-Cr-Al-Y (табл. 2.3). Вибір ітрію обумовлений як його доступністю, так і позитивним впливом на структурну стабільність і морфологію включень, а також зниженням лікваційної неоднорідності і ряд інших позитивних ефектів. Оскільки по спорідненості до кисню ітрій (Y_2O_3 утворюється при $\Delta G = -1800$ кДж/моль) перевершує інші РЗМ він повинен забезпечити формування щільної оксидної плівки Y_2O_3 , яка призводить до підвищення опору газової корозії. Крім поліпшення механічних властивостей сталей і сплавів легування ітрієм сприяє розкисленню, рафінуванню й зменшенню вмісту неметалічних включень у наплавленому матеріалі [4].

Таблиця 2.3 - Склад вихідного матеріалу та віст ітрію

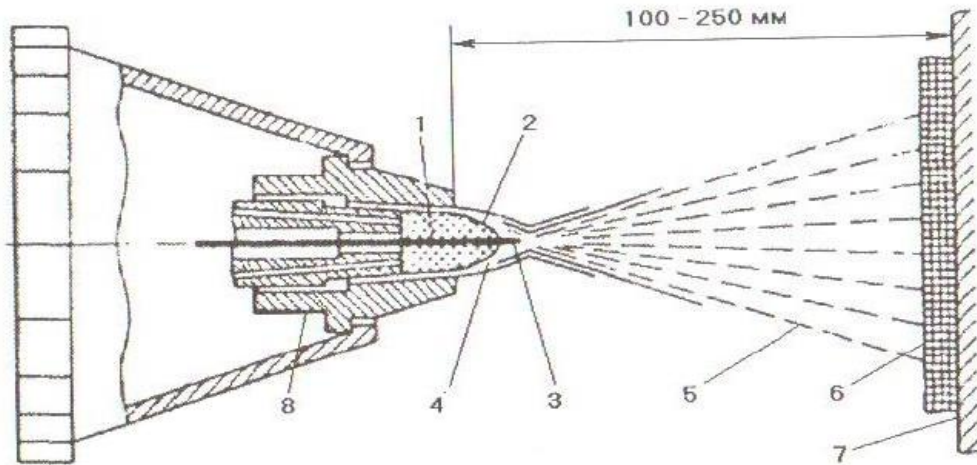
Склад	Вміст ітрію, %		
	Лігатура	Шихта	Покриття
КНА-82 + лігатура Co–Ni–Cr–Al–Y	0,7	0,1	0,1

2.2. Методика нанесення покриттів

Ущільнювальні покриття наносяться газополуменевим методом. Газополуменевий спосіб напилення покриття складається з формування на поверхні виробу шару з частинок напилювального матеріалу, які мають достатній запас теплової та кінетичної енергії внаслідок взаємодії зі струменем газового полум'я. В якості горючих газів для напилення використовують ацетилен та кисень, також в пальник подають повітря під високим тиском яке розпилює розплавлене покриття та дозволяє отримати більш дрібні краплини, що, в свою чергу, дає більш тонке і гладке покриття. Швидкості газових струменів зазвичай не перевищують 100 м/с, що дає швидкість частинок перед падінням на поверхню в межах 80 м/с.

При зовнішньому згоранні температурі струменю зазвичай перевищують 2600°C; вони залежать від температури згорання паливно-кисневої суміші, а також від змішування газів горіння з оточуючим повітрям. При регулюванні співвідношення паливо/кисень, відхиляючи його в будь-яку сторону від стехіометричного значення, отримаємо більш «прохолодне» полум'я, що дозволяє отримати окиснювальне або відновлювальне середовище.[5]

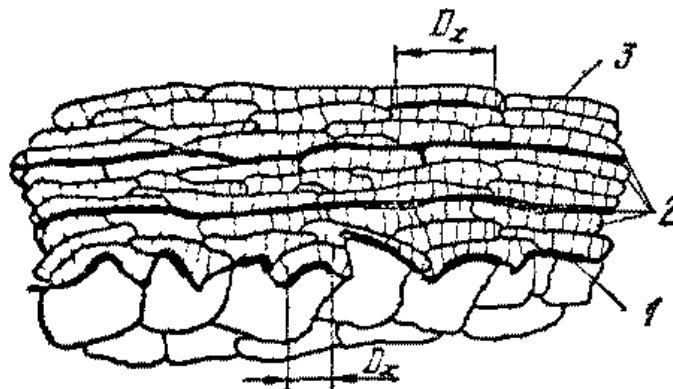
Принципова схема газополуменевого напилення наведена на рисунку 2.1.



1 – дріт або стрижень; 2 – полум'я; 3 – кінець дроту, який оплавлюється; 4 – повітряний струмінь; 5 – частинки металу; 6 – покриття; 7 – основа; 8 – насадка

Рисунок 2.1 – Схема газополуменевого напилення дротом або стрижнем

Матеріал покриття нагрівається, розпилюється і прискорюється в високотемпературному газовому потоці на поверхню виробу або основи напилювальний матеріал надходить в диспергуванні стані у вигляді дрібних розплавлених або пластифікованих частинок, які вдаряються об неї, деформуються і, закріплюючись, накладаються один на одного, утворюючи шарувату поверхню (рис. 2.2).

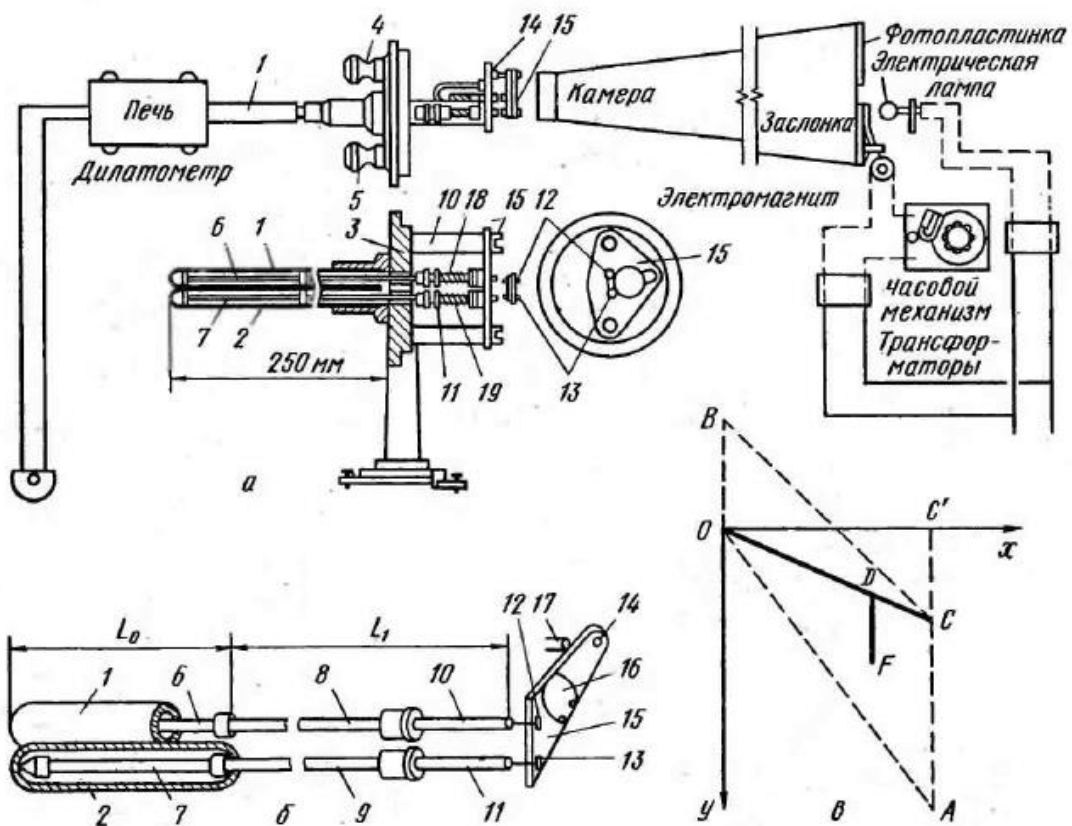


1 – границя між покриттям і основою; 2 – границя між шарами покриття; 3 – границя між частинками в шарі.

Рисунок 2.2 – схема структури покриття

2.3 Дослідження температурного коефіцієнта лінійного розширення матеріалів

Аналіз динаміки об'ємних змін і можливих структурно-фазових перетворень в матеріалі розроблених покриттів, які супроводжуються певними об'ємними змінами, проводили на диференційному дилатометрі Шевенара (рис. 2.3).



а – схема приладу, б – схема головки дилатометра, в – схема запису

Рисунок 2.3 – Диференційний дилатометр Шевенара

Максимальна температура нагрівання в печі дилатометра 950°C . Температура вимірювалась за допомогою термопари типу ХА і електронного автоматичного потенціометра ПЭД-250.

Дилатометричні криві записувались в умовах програмного рівномірного нагрівання із швидкістю $10\text{--}15^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ в інтервалі температур 20--

950°C. На дилатометрі Шевенара використовували диференціальну головку SN із збільшенням: за віссю температур $K_x=145,3$, за віссю ординат $K_y=319,25$.

За еталон використовували зразок зі сплаву «пірос» із відомими коефіцієнтами лінійного термічного розширення у всьому діапазоні температур і відсутністю фазових перетворень. Істинний температурний коефіцієнт лінійного розширення (ТКЛР) визначали графічним диференціюванням отриманих кривих за допомогою дзеркальної лінійки із наступним розрахунком за формулою:

$$\alpha_{zp} = \alpha_{em} \pm \frac{K_x}{K_y} (\alpha_{em} - \alpha_{kv}) \frac{dy}{dx} \quad (2.1)$$

де α_{zp} – коефіцієнт лінійного розширення зразка;

α_{em} – коефіцієнт лінійного розширення еталона;

α_{kv} – коефіцієнт лінійного розширення кварцу;

K_x, K_y – коефіцієнти оптичного збільшення по осям абсцис і ординат;

– тангенс кута нахилу дилатометричної кривої до осі абсцис.

При розрахунках величина $\frac{dx}{dy}$ замінюється на $\frac{x}{y}$, де x і y – це зміщення

кінцевої точки для даного інтервалу температур відносно початкової точки по відповідним осям координат в міліметрах.

2.4. Дослідження твердості та мікротвердості

Для вимірювання твердості покриття у відповідності до ДСТУ ISO 6506:1-2007 використовували твердомір WPM-250 HB-5/62,5/60.

Оцінка мікротвердості покриттів проводилась на мікротвердомері

моделі LECO АМН 43 USA у відповідності до вимог ГОСТ 9450-76. Навантаження складало 10 г.

2.5. Дослідження адгезійної міцності

Міцність з'єднання покриття з основним металом визначали штифтовим методом.

Зразком служила шайба, в отвір якої встановлювали циліндричний штифт таким чином, що його торцева поверхня знаходилась на одному рівні з площиною основи шайби (рис.2.4).

На загальну поверхню торця штифта і шайби після відповідної обробки наносили покриття.

Випробування проводили витягуванням штифта з шайби та фіксували навантаження.

Після відриву штифта від покриття визначали відношення максимального навантаження до площини торця штифта, що є кількісною характеристикою міцності з'єднання покриття з основою.

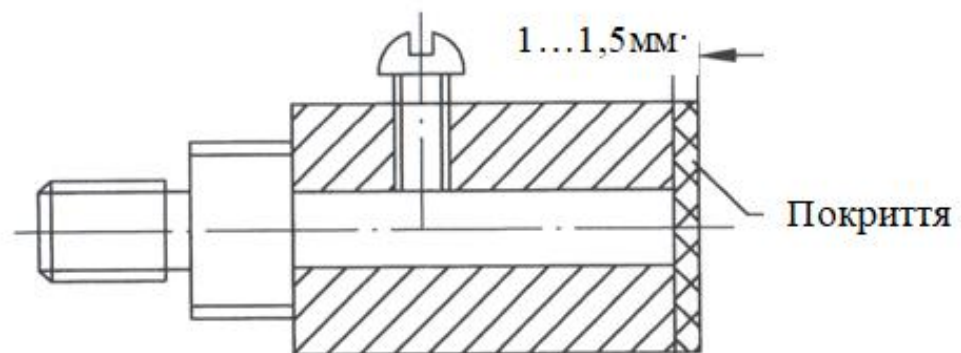


Рисунок 2.4 – Зразок для випробування на адгезійну міцність

2.6 Дослідження ерозійної стійкості

Для оцінки ерозійної стійкості не існує стандартних методів, тому тестування проводили на піскоструменевій установці для визначення твердості абразивних інструментів ТФ 21-11. Для порівняльної якісної оцінки поверхню покриття обробляли під тиском 0,05 МПа оксидом кремнію зернистістю 63...80 (ГОСТ 3647-80) під кутом 90°. Величина ерозійного зношування визначалась в найбільш глибокій точці та додатково оцінювалась втрата маси під час випробування. Після цього здійснювалось якісне порівняння стійкості зразків до ерозійного зношування.

2.7 Дослідження мікроструктури

З метою виявлення особливостей структури розроблюваних покриттів, проводились металографічні дослідження. Дослідження структури покриттів проводили на оптичному мікроскопі Zeiss Axio Observer при збільшенні 200...800 разів. В процесі досліджень вивчали вплив легування на зміну структурного стану базового та запропонованих покриттів.

Оцінку розмірів структурних складових проводили за загальновідомими методами стереометричної металографії. Мікроструктуру розроблених покриттів вивчали на різних етапах формування покриттів та після термічного впливу при довготривалій обробці зразків з нагрівом до 1100 °С протягом 50 і 100 годин.

2.8 Визначення теплофізичних характеристик

Зважаючи на те, що підвищення ефективності сучасних авіаційних ГТД передбачає збільшення робочих температур експлуатації до ущільнювальних покриттів висуваються вимоги також щодо забезпечення їх теплозахисної дії, в роботі досліджувались такі теплові властивості, як коефіцієнти температуропровідності, теплопровідності та питома теплоємність.

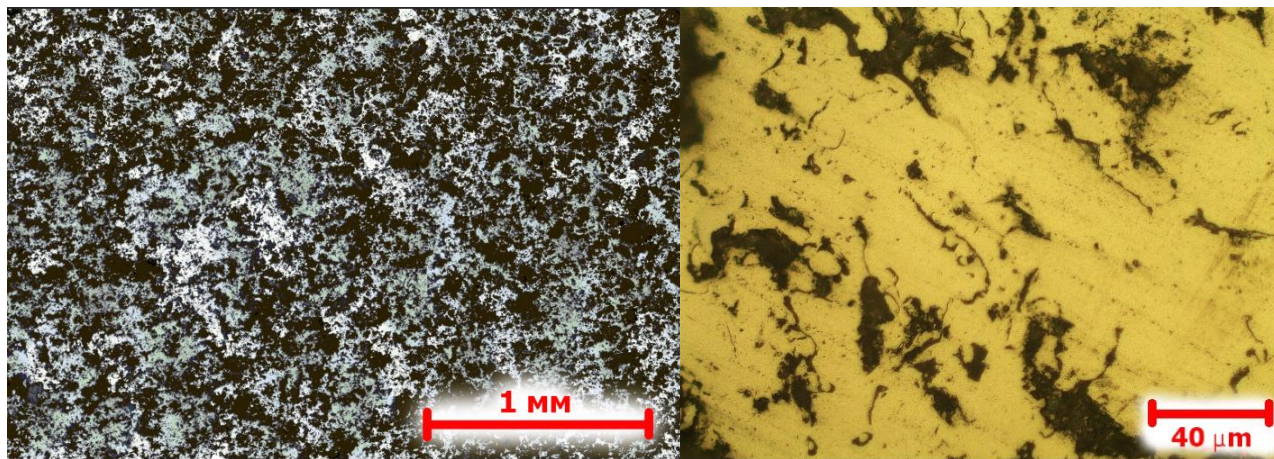
Вимірювання проводили на приладі LFA 457 (NETZSCH) методом лазерного спалаху на дископодібних зразках діаметром 12,5 мм і товщиною 2 мм, що мають плоскопаралельні основи. Похибка вимірювань температуропровідності і теплоємності не перевищувала 3%. Вимірювання проводили в діапазоні температур від 20 до 1000 °C зі змінним кроком. Швидкість нагрівання складала 1...15 °C/хв в залежності від рівня температури. Питома теплоємність зразків визначали порівняльним методом за еталонним зразком. Похибка визначення теплопровідності не перевищувала 8 %.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Результати дослідження мікроструктури

За допомогою оптичного мікроскопа було проаналізовано особливості розподілу пор і твердої фази.

Пори в покритті складу №1 (КНА-82+Co-Ni-Cr-Al-Y), після напилення, розташовані в площині перерізу більш рівномірно, значного розкиду в їх розмірах не спостерігається (рис. 3.1, а, б).



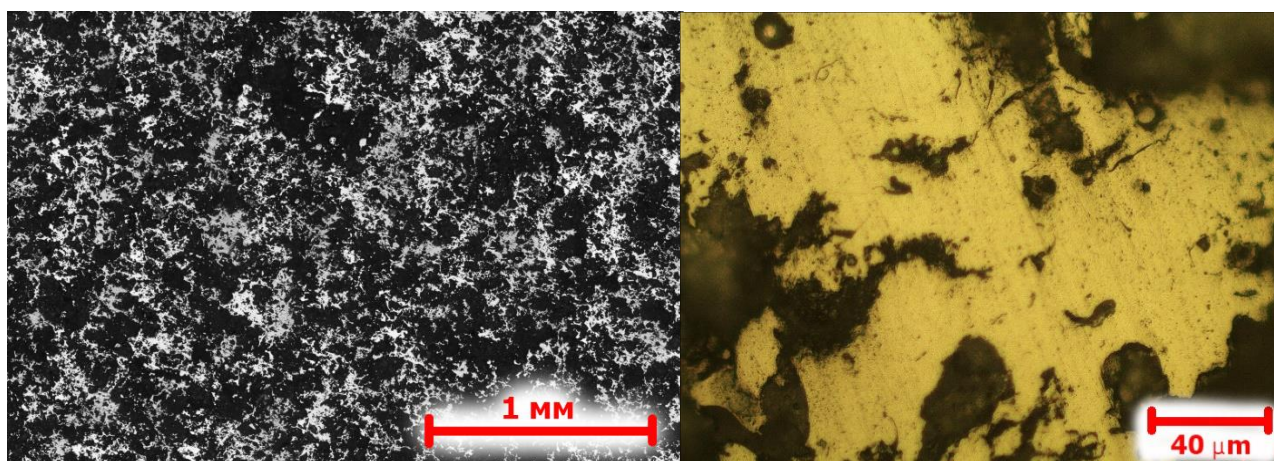
а

б

а, б –оптичний мікроскоп

Рисунок 3.1 - Мікроструктура покриття складу №1 (КНА-82+Co-Ni-Cr-Al-Y) після газополуменового напилення

Пори в покритті КНА-82 достатньо крупні і нерівномірно розташовані (рис.3.2). На поверхні твердої складової обох покриттів спостерігаються окремі частинки, імовірно, це пов'язано з тим, що частинка була окислена і не відбулося повного її впровадження у вже напилений матеріал.



а

б

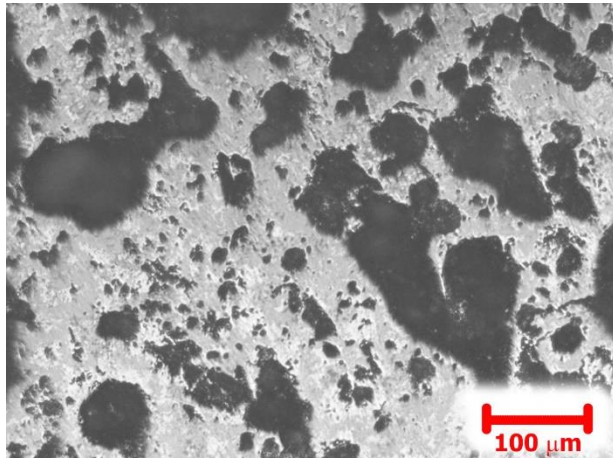
а, б – оптичний мікроскоп

Рисунок 3.2 - Мікроструктура покриття складу № 2 після газополуменового напилення

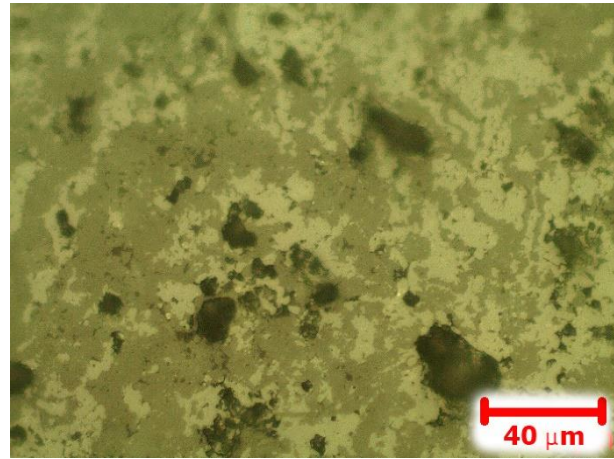
Алюміній та кобальт впливають на пористість покриттів, проте вимірювання їх густини підтвердило, що для обох лігатур густина в середньому складала $3,4 \text{ г/см}^3$. Високотемпературна витримка покриттів при температурі 1100°C впродовж 50 та 100 годин призвела до значних змін в їх структурі. На поверхні сформувалась однорідна структура, що, імовірно, пов'язано з утворенням оксидної плівки на поверхні покриттів під час нагріву та витримки.

Встановлено, що під час довготривалої високотемпературної витримки поверхня шліфа також має наслідки газової корозії, спостерігаються виразки на поверхні твердої фази (рис. 3.3, а, б). Співвідношення пор та твердої фази за перерізом шліфа рівномірне, крупні пори практично відсутні.

Дослідження покриття складу № 2 на оптичному мікроскопі дозволили виявити також сліди руйнування поверхні шліфа внаслідок негативного впливу високотемпературного окисного середовища (див.рис. 3.4, а, б), які виражені більш інтенсивно, на відміну від покриття складу № 1. Крім того на поверхні шліфа спостерігаються більш світлі частинки, що мали мікротвердість значно вище, порівняно з основним матеріалом.



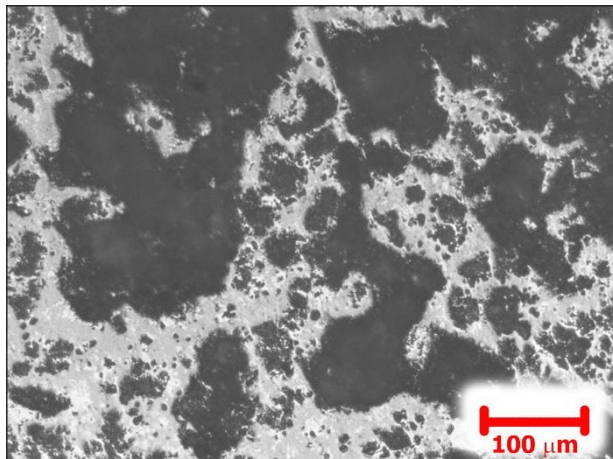
а



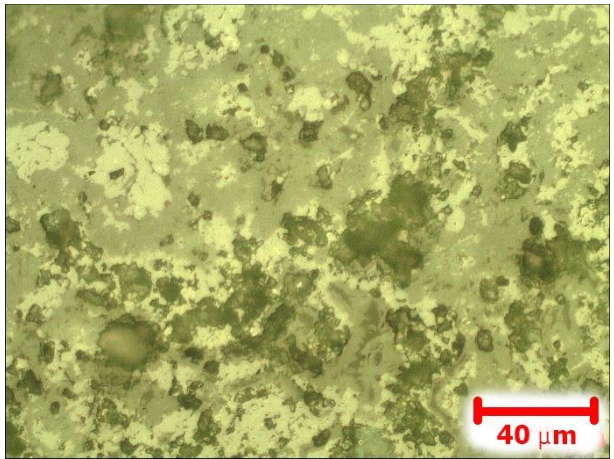
б

а, б – оптичний мікроскоп

Рисунок 3.3 - Мікроструктура покриття складу № 1 після термічного впливу при температурі 1100 °С впродовж 50 годин



а



б

а, б - оптичний мікроскоп

Рисунок 3.4 - Мікроструктура покриття складу № 2 після термічного впливу при температурі 1100 °С впродовж 50 годин

Сформована мікроструктура покриття складу № 1 характеризується рівномірним розташуванням та задовільною дисперсністю твердої фази. Поверхня має достатньо щільні оксидні плівки, які при механічному впливі руйнуються з утворенням достатньо дрібних виразок без порушення загальної цілісності сформованого покриття.

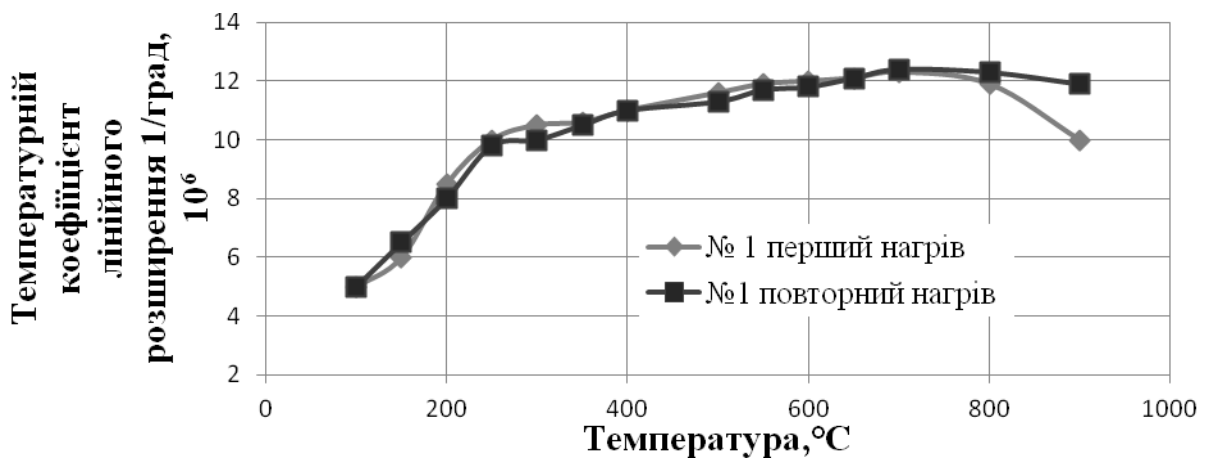
3.2 Результати досліджень температурного коефіцієнта лінійного розширення та теплопровідності

В роботі досліджували вплив легування ТКЛР покриттів і порівнювали його з результатами отриманими матеріалів основи, з яких виготовляють деталі ГТД, що підлягають газотермічному напиленню ущільнювальними матеріалами. При значній різниці в цих коефіцієнтах під час зміни температури на межі поділу покриття-матеріал основи можуть формуватись значні розтягувальні напруження та розтріскування ущільнювального покриття і відшаровування його від матеріалу основи. Також необхідно враховувати, що розвиток фазових перетворень в діапазоні робочих температур двигуна призводить до різкої зміни об'єму фаз і, відповідно, різкої зміни напружень, що знову ж таки, може призвести до розтріскування і руйнування покриттів.

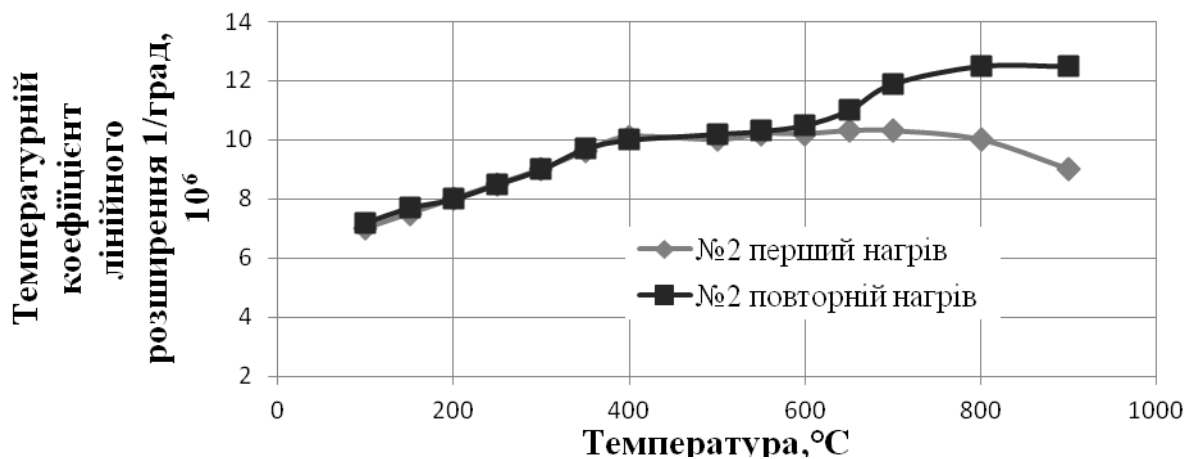
Дослідження зміни ТКЛР проводилось в автоматичному режимі із програмованим нагріванням до температури 950 °C протягом 3 годин та подальшим охолодженням в атмосфері печі. З метою оцінки структурної стабільності матеріалу покриття, при багаторазових теплосмінах, виконували повторне програмоване нагрівання зразків із відеофіксуванням характеру термічного розширення.

Як видно з рисунку 3.5, дилатограми покриттів КНА-82 (склад №2) та КНА-82+Co-Ni-Cr-Al-Y (склад №1) мають подібний одна до іншої характер. Для обох складів фіксується поступове збільшення ТКЛР до температури 650-700 °C із подальшою зміною вигляду дилатометричної кривої, що вказує на певне зменшення об'єму матеріалу. Імовірно, це можна пояснити, розвитком процесів окислення, появою інтерметалідних фаз і зміною пористості покриттів. Зменшення об'єму пор є енергетично вигідним процесом, оскільки супроводжується зниженням вільної поверхні, що, в свою

чергу, може ініціювати розвиток фазових перетворень, пов'язаних з утворенням оксидних, нітридних та інтерметалідних включень.



а



б

а – склад №1 (КНА-82+Co-Ni-Cr-Al-Y); б – склад №2(КНА-82)

Рисунок 3.5 – Залежність температурного коефіцієнта лінійного розширення покриттів від температури

Зменшення пористості матеріалу покриттів в результаті заповнення вільного об'єму новими утвореннями фаз, в свою чергу, може бути причиною зменшення ТКЛР в інтервалі 700-950 °C (імовірно, внаслідок додаткового «впорскування» вакансій в мікрооб'єми, що оточують тверду фазу). При повторному нагріванні зразків криві дилатограм повторюють характер кривих для першого етапу нагрівання тільки до температури

порядка 550-650 °С. Далі подовження зразків відбувається із дещо більшими значеннями ТКЛР. Структурно-фазовий стан матеріалів не стабілізується після достатньо тривалого (протягом 3 годин) першого етапу нагрівання.

В інтервалі 700-950 °С криві повторного нагрівання розташовуються над кривими дилатограм першого етапу, що є свідченням збільшення об'єму матеріалу. Процеси утворення оксидних і інтерметалідних фаз не завершуються навіть після довготривалих високотемпературних випробувань. Тобто на етапі повторного нагрівання, імовірно, відбувається більш повне заповнення міжчастинкових порожнин, що супроводжується навіть збільшенням загального об'єму матеріалу (завдяки виділенням з більшим питомим об'ємом).

При цьому найбільша різниця у значеннях ТКЛР на різних етапах нагрівання спостерігається у покритті складу №2. Покриття складу №1 має меншу різницю у траєкторіях кривих дилатограм і, відповідно має вищу стабільність структури.

Отже рівень термічних напружень, які виникатимуть в лабіринтних ущільненнях ГТД в процесі багаторазових теплозмін і, відповідно, імовірність розтріскування або відшаровування покриттів буде менше для матеріалу складу №1 (КНА-82+Co-Ni-Cr-Al-Y).

Оскільки покриття наноситься на деталі ГТД, що виготовляються з різних сплавів, виникла необхідність оцінити на скільки будуть відрізнятись ТКЛР покриття і матеріалу основи під час нагрівання. Для досліджень було брано сплави ЭИ-435 та ЖС-32.

Було встановлено, що введення ітрійвміщувальних лігатур до порошку КНА-82 позитивно впливає на різницю ТКЛР матеріалів матриці та основи з тієї точки зору, що під час нагрівання різниця між цими показниками у покриття складу №1 менша за покриття складу №2 (рис. 3.6 та 3.7).

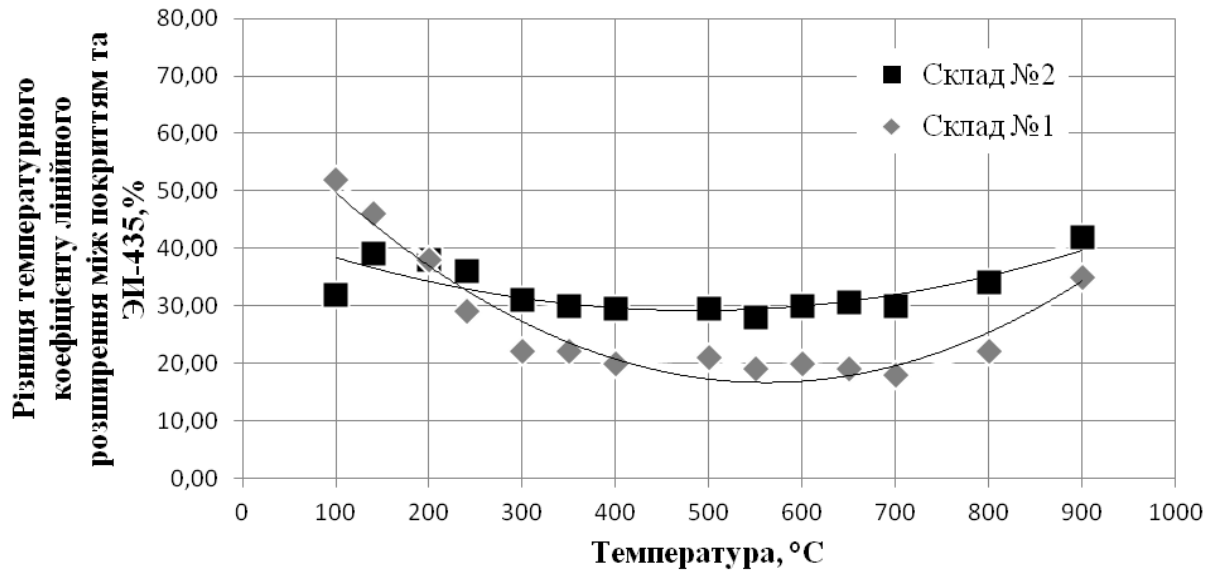


Рисунок 3.6 – Різниця ТКЛР ЭИ-435 та покриттів в залежності від температури

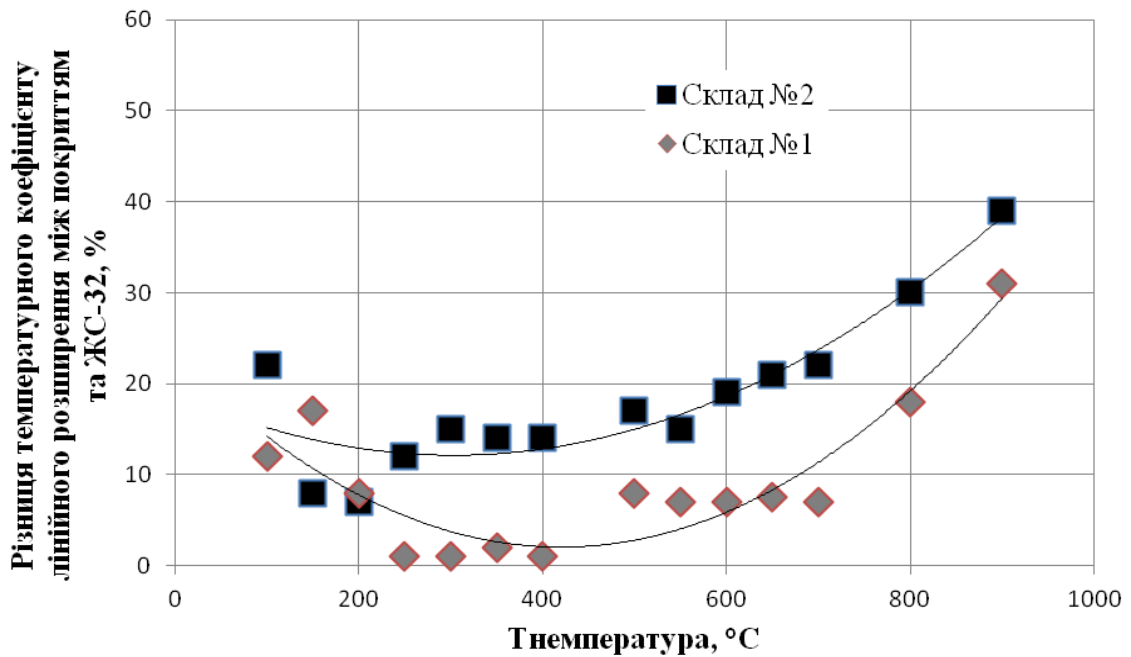


Рисунок 3.7 – Різниця ТКЛР ЖС-32 та покриттів в залежності від температури

Зниження довговічності теплозахисних покриттів тісно пов'язане з виникненням термічних напружень внаслідок невідповідності ТКЛР покриття і матеріалу основи, тому зниження різниці між цими показниками дозволяє підвищити довговічність системи матеріал основи - ущільнювальне

покриття. Як видно з отриманих даних, зростання робочих температур двигуна призводить до підвищення різниці в ТКЛР і, відповідно, збільшення напружень на границі між покриттям і основою.

Одним з додаткових позитивних аспектів нанесення ущільнювальних покриттів є забезпечення теплозахисної дії, що обумовлює появу додаткових резервів, щодо забезпечення необхідної жароміцності деталей ГТД. Зменшення теплопровідності матеріалів покриттів повинно сприяти підвищенню експлуатаційної стійкості виробів, які можуть експлуатуватися при більш високих температурах. Теплофізичні характеристики напиленого покриття залежать від характеристик базового матеріалу, що напилюють, а також вмісту пор, неметалевих включень, оксидів і інтерметалідів, розподілених в об'ємі створеного покриття. Теплоізоляційні властивості зростають з підвищенням пористості покриттів, але в подальшому це може негативно вплинути на їх жаростійкість (опір газовій корозії) та ерозійну стійкість.

Як видно з рисунку 3.8 теплопровідність покриттів після додавання лігатур зменшилась. Спостерігається загальна тенденція збільшення теплопровідності зі зростанням температури, що пов'язано із додатковими механізмами теплопровідності через наявність пор в покриттях.

Температуропровідність матеріалів, легованих ітрієм, нижча за вихідне покриття КНА-82 (рис. 3.9). Це дозволяє зробити висновок, про позитивний вплив лігатур, що містять ітрій, на теплозахисні властивості ущільнювальних покриттів.

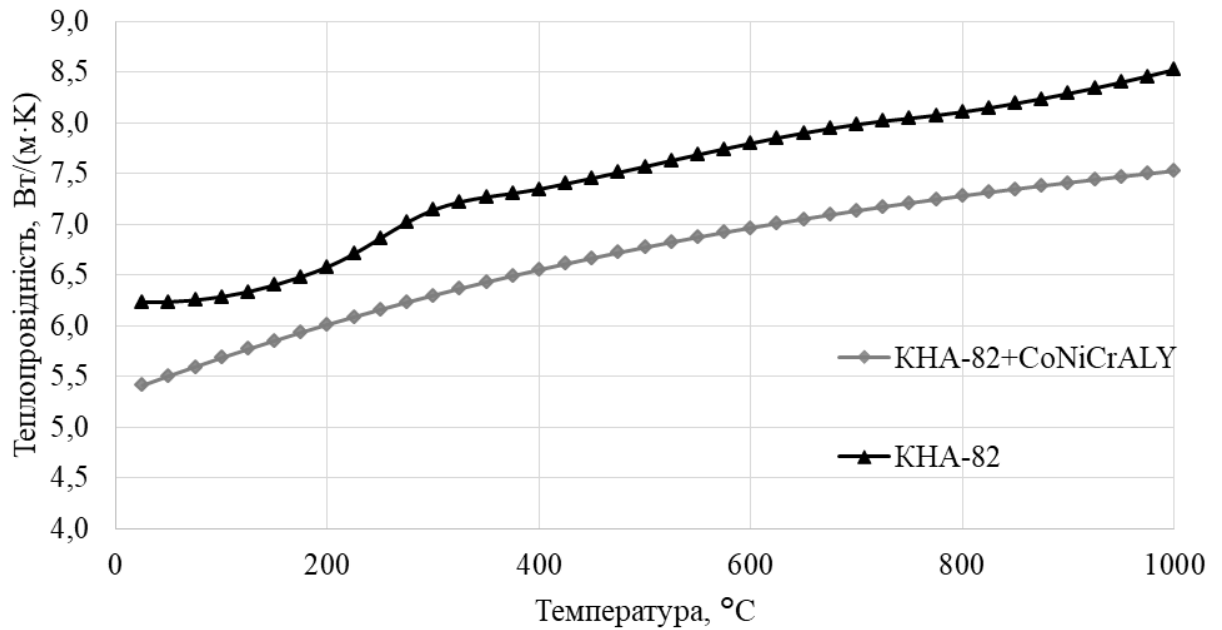


Рисунок 3.8 – Вплив температури на теплопровідність покриттів

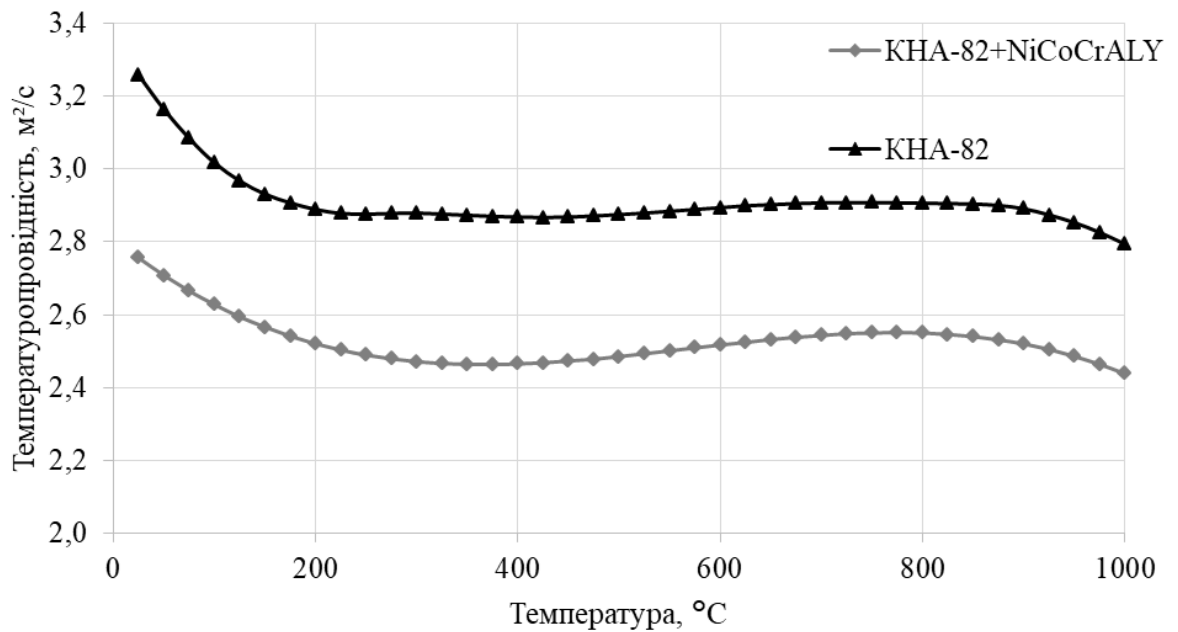


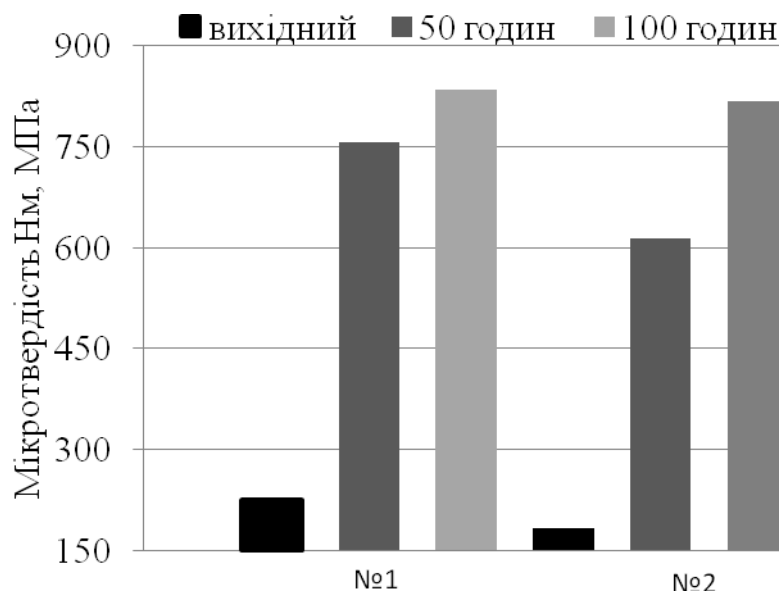
Рисунок 3.9 – Вплив температури на температуропровідність покриттів

Таким чином, отримані дані з впливу лігатур, що містять ітрій, на теплофізичні характеристики покриттів, дозволили встановити, що введення ітрію до складу покриттів знижує різницю в ТКЛР між покриттям та матеріалом основи. Це зменшить величину внутрішніх напружень на межі

матеріал основи-покриття і підвищить стійкість покриттів при термоциклюванні.

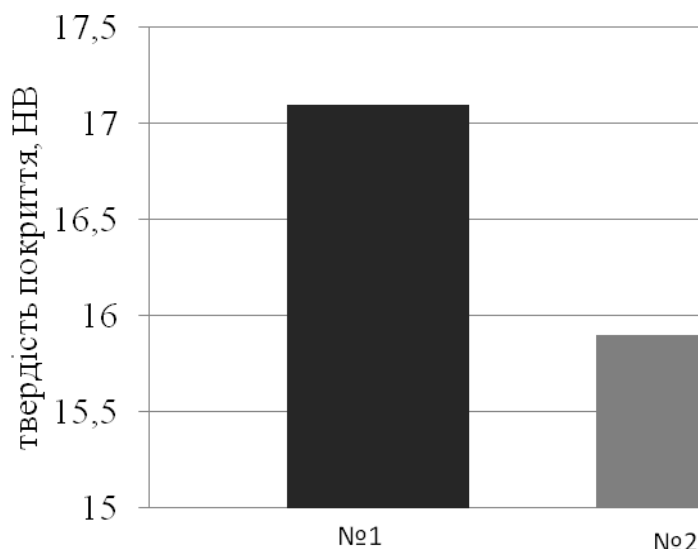
3.3 Результати досліджень механічних властивостей

Ущільнювальне покриття в процесі роботи двигуна має відповідати таким вимогам як висока припрацьовуваність на початковому етапі та високий опір ерозійному зношуванню під час усталеного режиму, необхідно було визначити як змінюється твердість матеріалу покриття в процесі експлуатації. Було встановлено, що на початковому етапі, без впливу високих температур, покриття мають досить низькі показники мікротвердості та твердості (НВ) (рис. 3.10 та 3.11), що, ймовірно, пов'язано з високою пористістю отриманих покриттів, особливостями когезійної взаємодії між частинками покриття та незначним вмістом оксидів та інтерметалідів.



№1 – КНА-82+Co-Ni-Cr-Al-Y; №2 – КНА-82

Рисунок 3.10 – Залежність мікротвердості покриттів від вмісту лігатур та часу витримки при температурі 1100 °С



№1 – KHA-82+Co-Ni-Cr-Al-Y; №2 – KHA-82

Рисунок 3.11 – Залежність твердості покриттів від хімічного складу лігатур

Більш висока твердість покриттів, додатково легованих різними складами лігатур, у вхідному стані після напилення обумовлена, по-перше, посиленням дифузійної взаємодії під час формування газотермічних покриттів, по-друге, наявністю після напилення оксидів Al_2O_3 , Y_2O_3 та збереженням інтерметалідів Ni_5Y , NiAl , Ni_3Al , Co_2Al_5 , CoCr_2 . Причому, оскільки співвідношення даних фаз в отриманих експериментальних покриттях варіюється, твердість експериментальних покриттів також змінюється (хоча і незначно). Після витримки зразків при температурі 1100 °C впродовж 50 та 100 годин мікротвердість зразків значно зростає, що, скоріше, пов'язано з суттєвим збільшенням кількості оксидних та інтерметалідних фаз в структурі. При цьому покритті складу №3 має вищий рівень мікротвердості після 100 годин витримки фіксується, це пояснюється не тільки інтенсивним утворенням складних шпінельних оксидних сполук (NiCr_2O_4 , CoAl_2O_4), а і також існування чисельної кількості різних за природою інтерметалідних сполук (NiAl , Ni_3Al , Ni_5Y , Co_2Al_5 , CoCr_2). Поява додаткових складнорозчинних твердих інтерметалідних частинок та нових міжфазних поверхонь забезпечуватиме реалізацію бар'єрного механізму для

рухомих дислокацій і, відповідно, буде сприяти покращенню опору ерозійному зношуванню і жароміцності покриттів в цілому.

Незначний приріст мікротвердості після витримки 100 годин порівняно із 50 годинами скоріше є наслідком окислення окремих нітридних фаз, зокрема BN, в результаті чого в структурі з'являється B_2O_3 і знижується твердість та зносостійкість покриття. Додатковим фактором зменшення інтенсивності зростання мікротвердості є розвиток процесів коагуляції інтерметалідних частинок, які утворились на початку високотемпературної обробки.

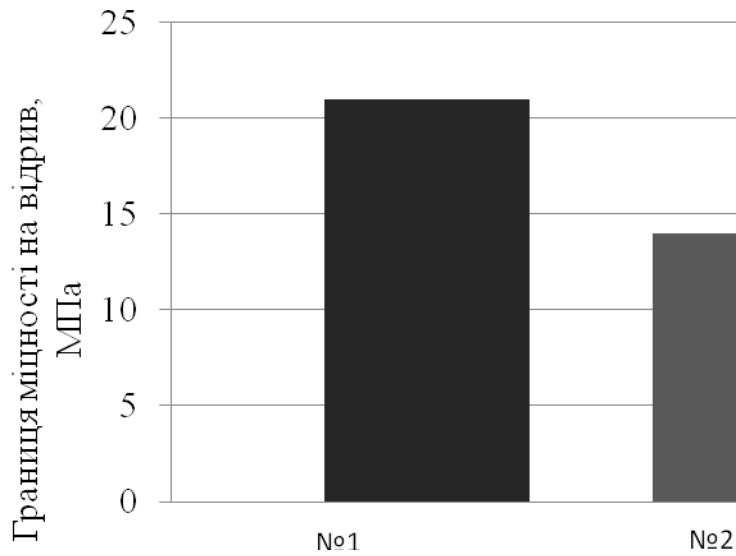
З точки зору експлуатації ущільнювальних покриттів такий характер зміни є найбільш вигідним, оскільки на початку експлуатації покриття при взаємодії з лабіринтним ущільненням або лопаткою турбіни має бути досить м'яким для забезпечення легкої припрацьовуваності поверхонь тертя.

Після того, як в процесі роботи двигуна та взаємодії його роторно-статорних елементів будуть сформовані контури «доріжки», по яких буде відбуватись рух роторних деталей, подальша дія високотемпературного газового середовища буде приводити до реалізації структурно-фазових перетворень з формуванням інтерметалідних фаз та утворенням на поверхні покриттів оксидів і, як наслідок, зростання їх твердості. Відповідне формування оксидних і інтерметалідних сполук, у свою чергу, сприятиме підвищенню опору газовій ерозії.

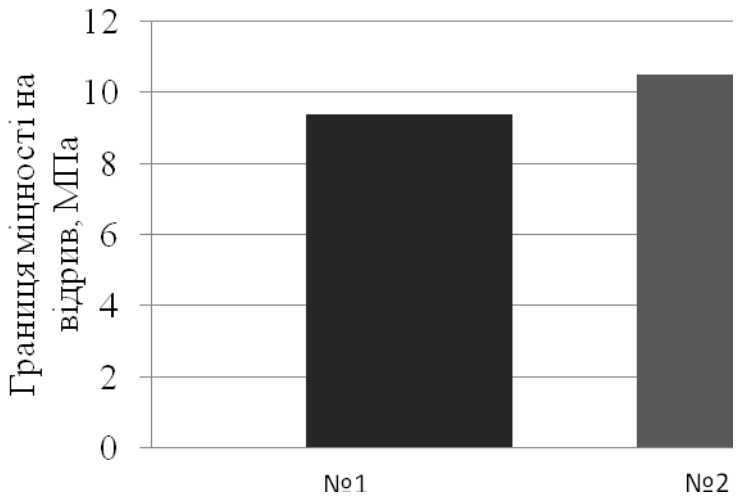
3.4 Результаті досліджень експлуатаційних властивостей

Оскільки під час взаємодії ротору і статору на ущільнювальне покриття будуть діяти як нормальні, так і тангенціальні навантаження, необхідно було встановити характер адгезійної взаємодії покриттів. Враховуючи, що ущільнювальні покриття наносять на різні жароміцні сплави, досліджували

границю міцності на відрив покриттів, нанесених на основи ВЖ-102 та ЭИ-435 (рис. 3.12).



а



б

№1 – КНА-82+Co-Ni-Cr-Al-Y; №2– КНА-82

а - основа ВЖ-102; б - основа ЭИ-435

Рисунок 3.12 – Залежність границі міцності на відрив від хімічного складу лігатур

Як видно з наведених значень твердості на стовпчастій діаграмі, матеріал основи значно впливає на адгезійну міцність матеріалу покриття та основи.

Найбільш стабільні показники спостерігались у покриттях складу №1.

Цілком ймовірно, що при використанні комплексної лігатури Co-Ni-Cr-Al-Y забезпечується найбільш оптимальне співвідношення компонентів у покритті,

Яке обумовлює таке фазове співвідношення, зокрема, і оксидних фаз Y_2O_5 і Al_2O_3 при якому реалізується поступова зміна ТКЛР по товщині покриття і більш якісна адгезійна взаємодія із матеріалом основи.

Оскільки, під час експлуатації деталі ГТД зазнають ерозійного впливу газового середовища.

Були проведені дослідження ерозійної стійкості покриттів (рис.3.13). Встановлено, що легування досить помітно впливає на опір ерозії.



а

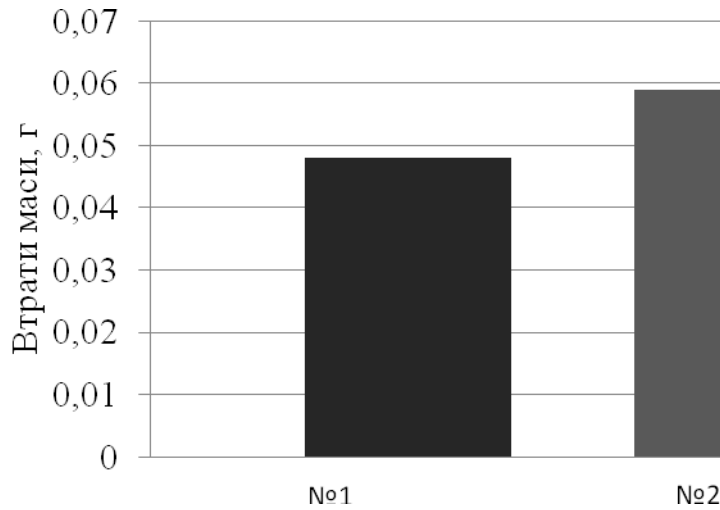


б

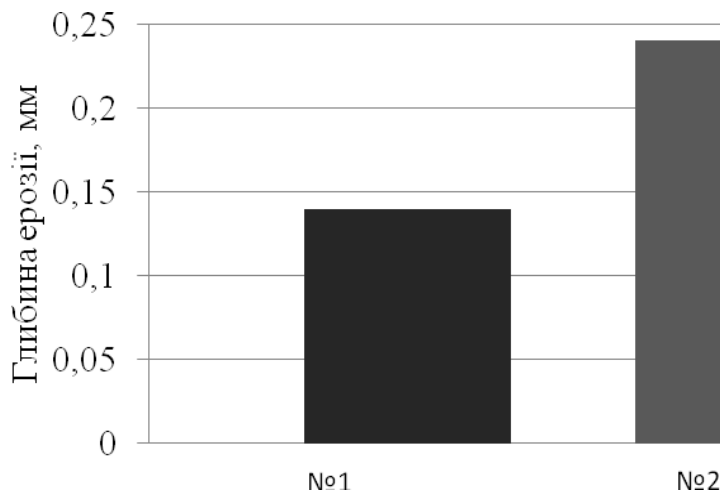
а – КНА-82+Co-Ni-Cr-Al-Y; б - КНА

Рисунок 3.13 – зовнішній вигляд зразків після дослідження на опір ерозії

На рисунку 3.14 представлені результати дослідження впливу легування на опір ерозійному зношуванню.



а



б

№1 – КНА-82+Co-Ni-Cr-Al-Y; №2 – КНА-82

а– втрата маси; б– глибина ерозії

Рисунок 3.14 – Залежність опору ерозії покриттів від лігатури

Як видно з наведених даних найбільший опір ерозії демонструють покриття складу №1, що підтверджується результатами вимірювання твердості зразків. Отримані дані дозволяють припустити, що в подальшому, під час роботи у високотемпературному газовому середовищі ці покриття матимуть більш високий опір газовій ерозії.

Це можна пояснити формуванням на поверхні покриттів щільних оксидних плівок та шпінелей, які підвищують їх ерозійну стійкість та позитивно впливають на жаростійкість матеріалу покриття.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ В ГАЛУЗІ

В розділі надані основні заходи з охорони праці при дослідженні теплофізичних та експлуатаційних властивостей ущільнювальних покриттів.

4.1 Аналіз потенційних небезпек

а) Небезпеки які пов'язані з порушенням роботодавцем вимог НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцем охорони праці працівників». А саме: облаштування робочих зон, що може бути пов'язано з відсутністю або непрацездатністю захисних пристроїв, втратою конструкційної міцності будівель і споруд.

б) Можливість ураження електричним струмом при виконанні досліджень внаслідок порушень правил з електробезпеки, несправності електроприборів, відсутності групових або індивідуальних засобів захисту.

в) Небезпеки які пов'язані з підготовкою дослідних робіт для випробувань зокрема забезпечення дослідників спеціальними захисними засобами для захисту від підвищених температур.

г) Можливість отримання механічних травм при підготовці зразків з використанням абразивного інструменту для подальших досліджень.

д) Невідповідність вимогам ДБН В.2.5-28-2006 «Природне та штучне освітлення» що призводить до зниження працездатності.

е) Небезпеки які пов'язані з обробкою результатів досліджень з використанням ПК внаслідок підвищеної інтенсивності та напруженості праці.

є) Небезпеки які пов'язані з умовами праці у надзвичайних ситуаціях.

4.2 Заходи забезпечення безпеки

а) Для виключення можливості ураження електричним струмом передбачено:

–Всі співробітники лабораторії повинні пройти навчання та перевірку знань з електробезпеки.

–Усе технічне обладнання повинно бути заземлено з опором заземлюючого контуру 4 – 10 Ом (ПУЕ-2015). Обов'язковим є щоденна перевірка щільності заземлювачів, не рідше як 2 рази на рік перевірка контактів та електричних з'єднань, ремонт обладнання проводять особи які мають кваліфікаційну групу не менше 3. Передбачається використання тільки подвійної ізоляції провідників (ПТБЕ).

–Стосовно розташування струмоведучих частин на недоступній висоті (до 1000В – не менше 3,5 м; більше 1000В – не менше 6 м). Усі неізольовані струмопровідні лінії повинні бути надійно огорожені, відкриття можливо тільки за допомогою спеціальних пристроїв.

б) Для виключення механічних травм при підготовці зразків передбачено:

–При необхідності проведення токарної, фрезерної, шліфувальної обробки обов'язковим є виконання інструкцій з експлуатації та техніки безпеки при використанні відповідного обладнання. Відносно безпеки виконавців обов'язковим є використання індивідуальних засобів захисту: окуляри (ГОСТ 12.4.013-85), спецодяг (ГОСТ 12.4.049-78) та спецвзуття (ГОСТ 28507-99).

–При установці абразивного круга необхідно між фланцями і кругом встановити прокладки з картону або другого еластичного матеріалу товщиною 0,5 – 1мм.

–Перед початком роботи круг, встановлений на станок повинен бути перевірений на ходу при робочому числі обертів.

–Роботу можна починати тільки впевнившись в тому, що круг не має биття, а биття шпінделя шліфувального станка не перевищує 0,03 мм.

–Захисний екран повинен бути заблокований з пусковим механізмом який виключає можливість пуску станка при піднятому екрані.

–На підприємствах де застосовується абразивний інструмент повинні бути інструкції:

- по установці і експлуатації абразивного інструменту;

- по випробуванні кругів на міцність.

- Заходи захисту при використанні абразивного інструменту: абразивні кола повинні мати штамп про випробування на експлуатаційну надійність. Кожний верстат повинен мати табличку зі значенням допустимої колової швидкості, що дає змогу використовувати тільки ті абразивні кола, допустима колова швидкість яких в межах зазначених на табличці.

в) Згідно вимог НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» передбачено:

–На підприємстві повинні бути створені для кожного працівника здорові і безпечні умови праці. При цьому необхідно дотримуватись таких основних принципів запобігання небезпекам:

- Забезпечення необхідних в приміщеннях дослідницьких лабораторій;

- Забезпечення індивідуальними та груповими засобами захисту;

- усунення небезпек у їх першоджерелах, виключення або максимальне обмеження впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників;

- забезпечення пріоритету колективних засобів захисту над індивідуальними;

- врахування людського фактора, зокрема під час вибору засобів виробництва, технології, організації праці, устаткування робочих місць тощо.

Працівники мають бути проінформовані та проінструктовані щодо дій, необхідних у разі виникнення на підприємстві аварійних ситуацій, пов'язаних з безпосередньою загрозою для їх життя і здоров'я, та про вжиті або такі, що мають бути вжитими, запобіжні і захисні заходи.

Роботодавець забезпечує повну і вичерпну інформацію працівників та їх уповноважених представників з питань охорони праці про можливі небезпечні ситуації, про вжиті заходи для їх запобігання або їх ліквідації та про дії працівників у аварійних ситуаціях.

Для забезпечення належного виконання цих заходів роботодавець призначає відповідальних осіб, забезпечує їх підготовку і спорядження відповідно до небезпечності виробництва, масштабів і специфіки підприємства [22].

Виробничі приміщення повинні мати достатню площу та висоту для раціонального планування робочих зон та місці відповідно до СНиП 2.09.04-87 «Административные и бытовые здания».

г) Для запобігання негативних наслідків при проведенні випробувань передбачено:

–Для запобігання теплового випромінення та термічних опіків передбачено використання індивідуальних засобів захисту, спецодягу (ГОСТ 12.4.139-84).

–Завантаження та вивантаження зразків в піч проводити тільки за допомогою спеціального інструменту.

–З огляду на високий ступінь небезпеки при використанні електричних печей опору, всі співробітники повинні пройти інструктаж з електробезпеки.

4.3 Заходи забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці

Освітлення в приміщенні повинно відповідати вимогам ДБН В.2.5-28-2006 «Природне та штучне освітлення»

– Освітленість від системи загального освітлення повинна складати не менше 200 лк при розрядних лампах і 100 лк при лампах розжарювання. Створювати освітленість більше 750 лк при розрядних лампах і 300 лк при

лампах розжарювання дозволяється тільки за наявності обґрунтування;

- Освітленість від світильників загального освітлення в системі комбінованого підвищувати на один ступінь за шкалою освітленості.

- При суміщеному освітленні для приміщень громадських будинків з боковим освітленням при розрахунковому значенні КПО (коефіцієнт природного освітлення), яке дорівнює або менше 80 % від нормованого значення, освітленість від загального штучного освітлення слід підвищувати на один ступінь за шкалою освітленості.

Штучне освітлення може бути представлене двома системами – загальне та комбіноване. Робоче освітлення передбачають для всіх приміщень будинків, а також ділянок відкритих просторів, призначених для роботи, проходу людей та руху транспорту.

Для приміщень, які мають зони з різними рівнями природного освітлення та різними режимами роботи, повинно передбачатись окреме регулювання освітленням таких зон. За необхідністю частина світильників аварійного або основного освітлення може бути використана для чергового освітлення. Нормовані характеристики освітлення в приміщеннях і зовні будинків може забезпечуватись як світильниками робочого освітлення, так і спільним з ним освітленням світильниками безпеки і (або) евакуаційного освітлення [23].

Для освітлення приміщень слід використовувати, як правило, найбільш економічні розрядні лампи. Використання ламп розжарювання для загального освітлення допускається тільки при неможливості або техніко-економічної недоцільності використання розрядних ламп.

Для місцевого освітлення, крім розрядних джерел світла, рекомендовано використовувати лампи розжарювання, в тому числі галогенні. Використання ксенонових ламп у приміщеннях не дозволяється [23].

Освітлення робочої поверхні, що створена світильниками загального освітлення в комбінованій системі, повинна складати не менше 10 %

нормованої для комбінованого освітлення при таких джерелах світла, які застосовуються для місцевого освітлення.

При цьому освітленість не повинна бути менше 200 лк при розрядних лампах, не менше 75 лк – при лампах розжарювання. Створити освітленість від загального освітлення в системі комбінованого більше 500 лк при розрядних лампах і більше 150 лк при лампах розжарювання допускається тільки за наявності обґрунтувань [23].

Нормою освітлення для приміщень дослідницької лабораторії є 300лк.

Розрахунок освітленості приміщення дослідницької лабораторії

1.Визначаємо сумарний світловий потік освітлювальної установки Φ_{Σ}

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_{\kappa} * A * B * K_3 * Z}{\eta}$$

де: E_{κ} – рівень нормованого загального освітлення, лк;

A – довжина приміщення, м;

B – ширина приміщення, м;

K_3 – коефіцієнт запасу;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{300 * 7 * 4 * 1,5 * 1,1}{0,62} = 22355_{\text{лм}}$$

2. Вибір світильника та відповідної лампи

Обираємо світильник типу ЛПП та лампу ЛХБ ($\Phi_{\text{л}}=2840\text{лм}$).

3. Розрахунок кількості світильників та ламп

$$N_{св} = \frac{\Phi_{\Sigma}}{\Phi_{л}} = \frac{22355}{2840} = 7,87 = 8_{штук}$$

4. За умови встановлення двох ламп в один світильник отримуємо 4 світильників по 2 лампи.

5. Перевірка емпіричним методом

На рисунку 4.1 зображено схему розташування світильників

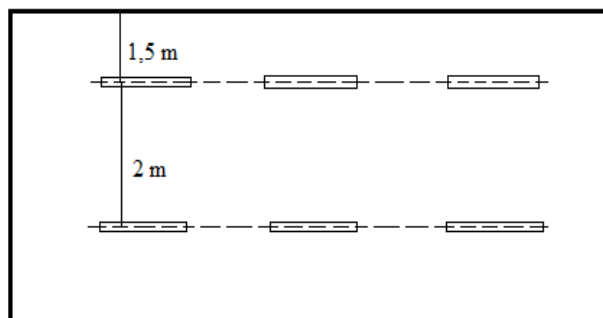


Рисунок 4.1 – Схема розташування світильників

6. Чисельна перевірка типу світильника і кількості стандартних ламп

$$E_p = (-10\% \dots +20\%) \cdot E_n$$

Розраховуємо загальну розрахункову освітленість

$$E_p = \frac{\Phi_{л} * N_{л} * \eta}{A * B * K_z * z} = \frac{2840 * 8 * 0,62}{7 * 4 * 1,5 * 1,1} = 305_{лк}$$

Загальна розрахункова освітленість становить 320 лк, що потрапляє в інтервал $E_p = 270 \leq 305 \leq 360$ лк. Отже, рівень освітленості задовільний.

є) Небезпеки які пов'язані з обробкою результатів з використанням ПК зокрема ушкодження кістково-м'язового апарату внаслідок довготривалої роботи в однотипній позі.

Відповідно до СанП 2.2.2.542-96 «гігієнічні вимоги для персональних електророзрахункових машин».

Режим праці та відпочинку повинен організовуватися від виду категорії трудової діяльності яка поділяється на 3 групи:

- Робота зі зчитувальною інформацією за попереднім запитом по сумарному числу опрацьованих знаків. Гранична кількість 60 тисяч знаків.
- Сумарна кількість набору знаків при безперервній роботі не більше 20 тисяч знаків. При роботі з регламентованими перервами (15 хв/год) не більше 40 тисяч знаків.
- Сумарний час безпосередньої роботи з комп'ютером в режимі діалогу при безперервній роботі не більше 4 годин, а при роботі з перервами не більше 6 годин.

Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці:

- Параметри мікроклімату і чистоти повітря у приміщенні обладнаному ПК з ВДТ визначені для певної категорії фізичних осіб згідно вимог

ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні вимоги мікроклімату виробничих приміщень».

- Захист користувачів ПК від шуму, згідно ДБН В.1.1-31:2013 «Захист територій будинків і споруд від шуму».
- Захист користувачів ПК від вібрації, згідно ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації».
- Вимоги до режиму праці й відпочинку при роботі з ПК, згідно ДСанПІН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

4.4 Заходи з пожежної безпеки та забезпечення безпеки в разі виникнення надзвичайних ситуацій

4.4.1 «Заходи з пожежної безпеки» розробляється відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Розробку заходів з пожежної безпеки починають з аналізу речовин і матеріалів, що використовуються при роботі на об'єкті, з метою визначення класу можливої пожежі (А, В, С, D, F, E) згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» та категорії його пожежної небезпеки, відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» та СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания».

Тобто указати до якої категорії виробництва з пожежної небезпеки (А, Б, В, Г, Д) належить об'єкт (дослідницька лабораторія, конструкторське бюро, дільниця, підстанція, цех, тощо) [24].

Відповідно до категорії виробництва з пожежної небезпеки і вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», указати ступінь вогнестійкості приміщення об'єкта (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, дільниці, підстанції, цеху, тощо).

Показати наявність засобів виявлення загорянь і пожеж згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту»:

- автоматичних сигналізаторів про пожежу;
- системи пожежної сигналізації.

З огляду на пожежну небезпеку, передбачені первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники різних видів), відповідно до вимог «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», зареєстрованих в МЮ України 23.02.2018 р. за № 225/31677.

Виробничі приміщення повинні бути обладнані стаціонарними установками автоматичного пожежогасіння.

Комплекс протипожежних заходів для приміщення (лабораторії, офісу, тощо) обладнаного ПК з ВДТ розроблений згідно вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Виходячи з аналізу матеріалів та речовин, які використовуються при роботі у приміщенні (лабораторії, офісу, тощо) обладнаному ПК з ВДТ:

– згідно з ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» у приміщенні (лабораторії, офісу, тощо) обладнаному ПК з ВДТ можлива пожежа класів – А (пожежа, яка супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (горіння електроустановок, які перебувають під напругою до 1000 В);

– відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», воно належить до категорії «Д» з пожежної небезпеки – простір у приміщенні, у якому перебувають горючі тверді речовини та матеріали.

Оскільки приміщення (лабораторії, офісу, тощо) обладнане ПК з ВДТ належить до виробництв категорії «Д» з пожежної небезпеки, тому згідно вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» воно має II ступінь вогнестійкості.

Згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту», в приміщенні (лабораторії, офісу, тощо) обладнаному ПК з ВДТ встановлена система пожежної й охоронної сигналізації «Сигнал-ВК6».

Яка забезпечує виявлення димових і теплових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика.

Оскільки приміщення (лабораторії, офісу, тощо) що обладнане ПК з ВДТ має площу 39 м², тому відповідно до вимог п. 5 розділу VI «Вибір типу та необхідної кількості вогнегасників», «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», зареєстрованих в МЮ України 23.02.2018 р. за № 225/31677 для гасіння електроустановок.

Що знаходяться під напругою, передбачені вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-3,5 у кількості 2 штук (з розрахунку один вогнегасник с величиною заряду вогнегасної речовини 3 кг. і більше, на 20 м² площі приміщення).

Додатково, на кожному поверсі будівлі, в якій розміщене приміщення обладнане ПК з ВДТ, передбачене два переносних порошкових вогнегасника – ВП-5. Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 10 м.

4.4.2 Забезпечення безпеки в разі виникнення надзвичайних ситуацій

Система управління цивільного захисту в залежності від прогнозованої або реальної надзвичайної ситуації може функціонувати в наступних режимах:

- Режим повсякденного функціонування – встановлюється при нормальних виробничо-промислової, радіаційної, сейсмічної, гідрологічної, техногенної, пожежної обстановках та при відсутності епідемій.

- Режим підвищеної готовності – встановлюється тимчасово в частковому або повному обсязі у разі виникнення загрози НС (надзвичайної ситуації) для окремих територій.

- Режим НС – встановлюється тимчасово в частковому або повному обсязі у разі виникнення НС будь-якого характеру на окремих територіях.

- Режим надзвичайного стану – встановлюється тимчасово в повному обсязі на території усієї країни або на окремих територіях на котрих введений особливий правовий статус.

Для практичної реалізації заходів захисту населення законодавством України передбачено:

- Централізоване керівництво – централізовані органи виконавчої влади;
- Забезпечення цивільного захисту на відповідних територіях – місцеві державні адміністрації;
- На об'єктах господарювання де чисельність працюючих більше 3000 осіб створені окремі підрозділи цивільного захисту; при чисельності 200 – 3000 чоловік призначаються посадові особи; до 200 осіб залучаються позаштатні фахівці; в учбових закладах при чисельності студентів більше 500 осіб – створюються штаби цивільного захисту де працюють посадові особи.

Сили цивільного захисту:

- Оперативно-рятувальна служба – складається з органів управління центрального підпорядкування, аварійно-рятувальних формувань спецпризначення.
- Аварійно-рятувальна служба – поділяється на державні, регіональні, комунальні та об'єктові. В залежності від специфіки виконуваних робіт поділяється на спеціалізовані та неспеціалізовані.
- Формування цивільного захисту – створюються для проведення великих обсягів робіт з ліквідації наслідків НС, а також для проведення відновлювальних робіт які потребують залучення великої кількості виконавців і техніки. Поділяються на об'єктові та територіальні.
- Спеціалізовані служби цивільного захисту - об'єктові та територіальні та призначаються для проведення спеціальних робіт які потребують знання та досвіду кваліфікованих фахівців та наявність майна спеціального призначення.
- Добровільні формування цивільного захисту – утворюють під час загрози НС для проведення допоміжних робіт.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Тенденції розвитку світового ринку технологій

Загальновідомо, що підвищення надійності, економічності та ресурсу газотурбінного двигуна (далі - ГТД) постійно потребує вдосконалення існуючих, розробки і впровадження нових матеріалів і технологій.

В зв'язку з тим що багато фізико-механічні властивості деталей ГТД визначаються станом поверхневого шару використання дорогих матеріалів в усьому об'ємі виробу недоцільно, а в деяких випадках і неможливо.

Дана проблема на сьогодні вирішується нанесенням на деталі спеціальних покриттів.

Однак відомі методи низькотемпературної хімії і металургії в процесах отримання покриттів (алитирование, анодування, гальваніка і т.д.) обмежені законами термодинаміки рівноважних процесів, рівнем досяжних температур і енергії часток.

Більш широкими можливостями мають плазмові (газотермічні) і іонно-плазмові вакуумні покриття. Т

Так, наприклад, для двигунів необхідно розробити теплозахисні покриття, забезпечують працездатність при підвищених температурах і навантаженнях, стійкі проти високотемпературної корозії, ерозії та зносу.

Особливо актуальна ця проблема для деталей камери згоряння і лопаток турбіни авіаційних двигунів нових поколінь і конверсійність газотурбінних агрегатів з великими ресурсами експлуатації.

Для зниження витрати палива і підвищення ККД двигунів необхідне впровадження нових матеріалів, здатних знизити до мінімуму радіальні зазори між елементами статора і ротора газового тракту турбіни і компресора.

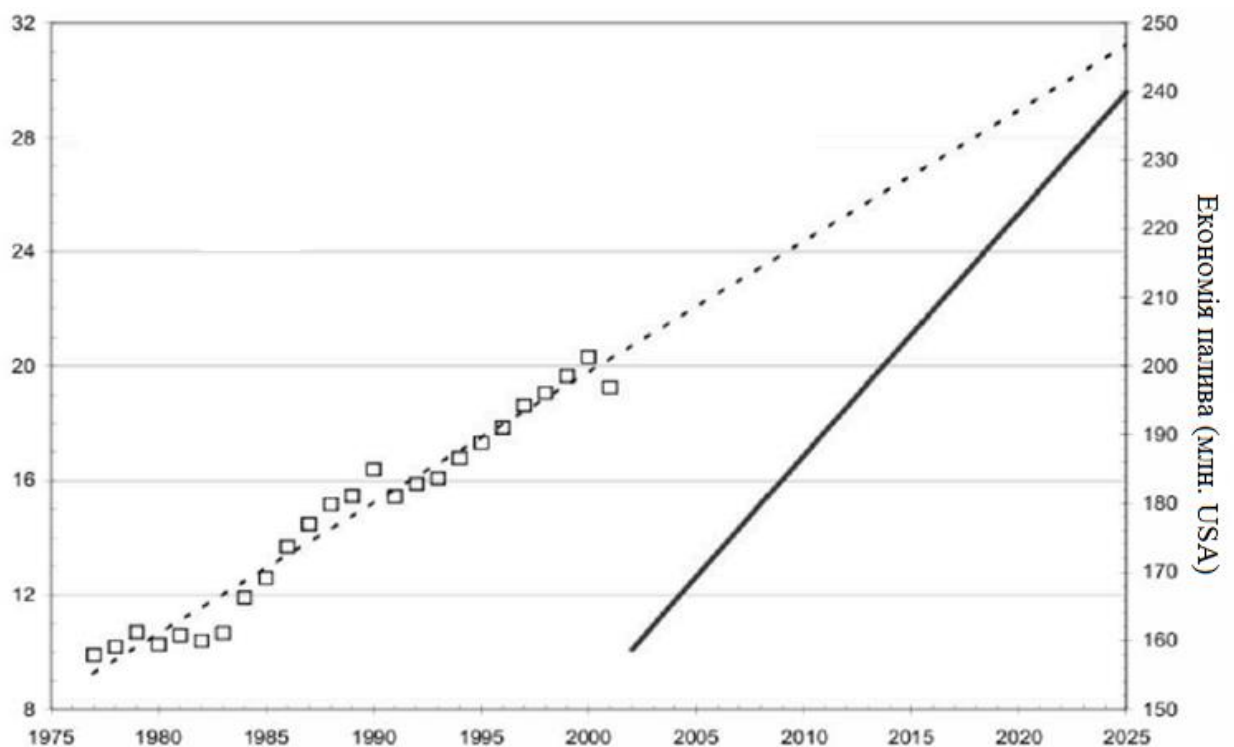
Питомі витрати палива пов'язанні з величиною радіального зазору. Збільшення відносного радіального зазору у компресорі на 1% призводить до

збільшення витрат палива приблизно на 4%.

Тобто зниження величини радіального зазору призводить до економії палива та зниженню витрат на обслуговування двигуна.

На рисунку 5.1 показанні витрати на паливо для авіап перевезення в США за останні 25 років і прогноз на 24 роки в перед.

Також на графіку наведенні данні очікуваної економії від зниження витрат палива на 1% по цінам на 2001 – 2002 рік.



□ - споживання палива;

----- - плановане споживання палива;

— - Економія від питомих витрат палива на 1%

Рисунок 5.1 – Ефективність використання технології напilenня покриття за технологією США

На АО «МОТОР СИЧ» для зменшення радіальних зазорів застосовують серійне покриття КНА-82 яке добре працює до температури 900 – 950 °С але в сучасних умовах необхідно використовувати нові матеріали які будуть добре працювати до температур 1100 – 1200 °С. Для цього було

запропоновано легувати серійне покриття складною лігатурою Co-Ni-Cr-Al-Y.

5.2 Техніко-економічні розрахунки

Характеристика продукції

В таблиці 5.1 наведено техніко-економічні характеристики покриття

Таблиця 5.1 - Техніко-економічні характеристики зміцнення покриття статору

Найменування виробу,	Базовий виріб	Новий виріб
1. Ущільнювальне покриття	КНА-82	КНА-82 + (Co-Ni-Cr-Al-Y)
2. Технологія нанесення	Газополумєневий метод	Газополумєневий метод
3. Норма часу напилення, н/год	-	3
3. Програма випуску, шт	500	500

Вартість сировини та 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 5.2

Вартість купівельних комплектуючих виробів розраховується на основі норм використання й цін, з урахуванням транспортно-заготівельних витрат. Транспортно-заготівельні витрати розподіляються між відповідними комплектуючими виробами прямо пропорційно їх вартості, кількості або вазі. Цей метод розподілу є найбільш поширеним, та використовується на більшості підприємствах.

Таблиця 5.2 - Вартість основних матеріалів газополуменевому методі нанесення ущільнювальних покриттів

Найменування сировини та основних матеріалів	Норма використання	Ціна, Грн	Вартість, грн.
Порошок КНА-82+(Co-Ni-Cr-Al-Y)	7 кг	320 грн/кг	2240
Кисень	15 л	3 грн/л	45
Ацетилен	15 л	20 грн/л	300
Разом	-	-	2585

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 5.3

Таблиця 5.3 - Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка)

Найменування операції	Норма часу, годин	Розряд робіт	Часова тарифна ставка, грн.	Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка), грн.
Формування стрижнів	1	V	65	65

Продовження таблиці 5.3

Нанесення покриття	2	V	65	130
Усього	-	-	-	195

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

$$ЗД = ЗО * \frac{K_d}{100}, \text{ грн.}$$

де K_d – процент додаткової заробітної плати.

$$ЗД = 195 * \frac{40}{100} = 78$$

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

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

де ПП – премії з прибутку, грн;

$K_{вс}$ – % відрахування на соціальні заходи.

$$BC = (195 + 78 + 50) \cdot \frac{22}{100} = 71,06 \text{ грн.}$$

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.

$$ЗВВ = 195 \cdot \frac{400}{100} = 780$$

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 200% від основної

заробітної плати основних виробничих робітників та розраховуються за формулою

$$AB = 30 \cdot \frac{\beta}{100}, \text{ грн.}$$

де β - % адміністративних витрат.

$$AB = 195 \cdot \frac{200}{100} = 390$$

Витрати на збут складаються з витрат, які пов'язані 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:

$$BZ = C_v \cdot \frac{\gamma}{100}, \text{ грн.}$$

де C_v – собівартість виробнича, грн;

γ - % витрат на збут .

$$BZ = 117406 \cdot \frac{2}{100} = 23,48$$

Прибуток складає 30% від повної собівартості і розраховується за формулою

$$\Pi = C \cdot \frac{P}{100}, \text{ грн.}$$

де P – рентабельність виробу, %.

$$\Pi = 3342,54 \cdot \frac{30}{100} = 1002,76$$

Податок на додану вартість згідно законодавства становить 20% від оптової ціни і розраховується за формулою

$$\text{ПДВ} = \text{Ц} \cdot \frac{H_{\text{ндв}}}{100}, \text{ грн.}$$

де $H_{\text{ндв}}$ – норматив податку на додану вартість, %.

$$\text{ПДВ} = 4345,3 \cdot \frac{20}{100} = 869$$

Ціна продажу виробу розраховується за формулою

$$\text{Ц}_{\text{пр}} = \text{Ц} + \text{ПДВ}, \text{ грн.}$$

$$\text{Ц}_{\text{пр}} = 4345,3 + 869 = 5214,3 \text{ грн}$$

Калькуляція собівартості і ціни продукції наведена в таблиці 5.4

Таблиця 5.4 - Калькуляція собівартості наплення покриття на статор

Статті витрат	Сума для базового покриття, грн	Сума для нового покриття, грн.
Сировина і основні матеріали	2095	2585
Купівельні комплектуючі вироби	-	-
Основна заробітна плата основних виробничих робітників	195	195

Продовження таблиці 5.4

Додаткова заробітна плата основних виробничих робітників	78	78
Відрахування на соціальні заходи з заробітної плати основних виробничих робітників	71,06	71,06
Загальновиробничі витрати	780	780
Собівартість виробнича	1174,06	1174,06
Адміністративні витрати	390	390
Витрати на збут	23,48	23,48
Собівартість повна	2852,54	3342,54
Прибуток	855,76	1002,76
Ціна оптова	3708,3	4345,3
Податок на додану вартість	741,66	869
Ціна продажу	4449,96	5214,3

Економічна ефективність інноваційного проекту розраховується за показником економії експлуатаційних витрат

$$E = (C_{\text{б}} * 1,3 - C_{\text{н}}) * 500$$

Де $C_{\text{б}}$ – собівартість базового виробу

$C_{\text{н}}$ – собівартість нового виробу

K – коефіцієнт експлуатаційного ресурсу

$$E = (2852,54 * 1,3 - 3342,54) * 500 = 182881 \text{ грн}$$

В ході економічних розрахунків було визначено повну собівартість нанесення вихідного та запропонованого складу покриття на статор яка

становить 2852,54 та 3342,54 грн. відповідно, економічна ефективність від нанесення запропонованого покриття складає 182881 грн., оптову ціну в розмірі 4345,3 грн., податок на додану вартість та ціну продажу які становлять 869 та 5214,3 грн. відповідно.

Отже, виходячи з розрахунків можна зробити висновки що впровадження більш коштовного, але при цьому і більш довговічного матеріалу є економічно доцільним.

ВИСНОВОК

Використання ущільнювальних жаростійких покриттів є досить ефективним методом підвищення ККД авіадвигуна, але через постійне зростання температури робочого середовища двигуна, уже існуючі покриття не підходять для використання. Через це з'явилась необхідність розробки нових покриттів, які були б працездатними при більш високих температурах.

За результатами дослідження механічних та експлуатаційних характеристик слід зазначити, що найбільш повно функціональним вимогам відповідає покриття складу №1 (КНА-82+Co-Ni-Cr-Al-Y), яке відзначається невисоким вихідним рівнем твердості, необхідним для припрацьовування виробів на початковому етапі роботи та володіє здатністю до контрольованого збільшення цих показників вже на усталених режимах експлуатації двигуна. Також покриття складу №1 (КНА-82+Co-Ni-Cr-Al-Y) переважає інші матеріали покриттів за показниками експлуатаційних характеристик, зокрема, характеризуються задовільною ерозійною стійкістю та адгезійною міцністю.

Також були досліджені правила техніки безпеки при роботі з дифрактометром, при випробуваннях на жаростійкість та виготовленні зразків. Були проаналізовані правила виробничої санітарії, правила роботи з ПК, а також правила пожежної безпеки та організацію сил цивільного захисту.

Після проведення економічних розрахунків було визначено економічний ефект від впровадження у виробництво нових матеріалів, та доведено що впровадження більш коштовного, але при цьому і більш довговічного матеріалу є економічно доцільним.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Иноземцев А.А., Сандрацкий В.Л. Газотурбинные двигатели: справочник, г. Пермь, 2006 г.;
2. Інструкція до технологічного процесу нанесення покриття КНА-82.
3. дослідження і розробка вдосконалених покриттів лабіринтних ущільнень турбін газотурбінних двигунів В. Л. Грешта, Д. В. Ткач, Є. Г. Сотніков, Д. В. Павленко, О. В. Климов
4. Савонов Ю.Н. Влияние иттрия на металлургические процессы при сварке сталей аустенитного класса электродами с фтористо-кальциевым покрытием / Ю.Н. Савонов, П.П. Лазебнов, А.Г. Александров // Автоматическая сварка. – 1982. - №7. – С.26-28
5. Девіс Дж. Р. Руководство по технологии термического напыления/ Дж. Р. Девіс 2004р.
6. Прошковая металлургия и напыление пористый/ Анциферов В.Н. и др.; под. ред.. Б.С. Митина. Москва, 1987. 792с.
7. Studying and designing improved coatings for labyrinth seals of gas-turbine engine turbines / V.Greshta, D.Tkach, Ye.Sotnikov, D.Pavlenko, O.Klymov // Estern-european jornal of enterprise technologies. 2018. 4/12 (94). P. 56-63.
8. Рабинович В.А., З.Я. Хавин Краткий химический справочник, – Л.: Химия, 1978. – 392 с.
9. Особливості вибору лігатури для підвищення експлуатаційних властивостей ущільнювальних покриттів деталей турбіни газотурбінних двигунів
10. Альтовский Р. М. Коррозионные свойства иттрия [Текст] / Р. М. Альтовский. – М: Атомиздат, 1969. – 354 с
11. Г. И. Пейчев, Э. В. Кондратюк, С. Д. Зиличихис, М. А. Гребенников, С. И. Хижняк, Л. Л. Каминская сравнительный анализ щеточного и

лабиринтного уплотнений гтд

12. Грешта, В.Л. Исследование фазового состава жаростойких уплотнительных покрытий, применяемых в ГТД [Текст] / В.Л.Грешта, Д.В.Ткач, А.В.Климов, Е.Г.Сотников, З.В.Леховицер, Л.П.Степанова // *Авиационно-космическая техника и технология*. - Харьков, "ХАИ". - 2016. - № 8(135). - С. 113-121.

13. Вплив легування на температурний коефіцієнт лінійного розширення ущільнювальних покриттів/ Ткач Д.В., Соломонов І.К.// Тези доповідей науково-практичної конференції, Запоріжжя, 16–20 квітня 2018 р. [Електронний ресурс] / Редкол. : В. В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2018. – 1 електрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. – Назва з тит. екрана.

14. СТП 15-96 Пояснювальні записки до курсових та дипломних проектів (робіт). – Запоріжжя: ЗДТУ, 1996. – 36 с.

15. СТП 2070848 10-89. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы физических величин. – Запорожье: ЗМИ, 1989. – 64 с.

16. Дослідження впливу легування на температурний коефіцієнт лінійного розширення покриттів. *Авиационно-космическая техника и технология*, 2018. - №7 (151). – С. 81-87. Грешта В.Л., Ткач Д.В., Климов О.В., Сотников Є.Г., Леховіцер З.В.

17. Abradable seals for gas turbines and other rotary equipment/ Karel Hajmrle; Petr Fiala; Anthony P. Chilkowich; Lawrence T. Shiembob // *Proc. ASME*. 41693; Volume 4: Turbo Expo 2004:673-682. January 01, 2004

18. Барвинок В. А. Срабатываемые, износостойкие и теплозащитные покрытия для деталей газового тракта турбины, компрессора и камеры сгорания ГТД. *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика СП Королёва (национального исследовательского университета)*. 2009. №3.

19. Бондарчук П.В., Тисарев А.Ю., Фалалеев С.В. Проектирование систем управления радиальными зазорами в турбокомпрессоре ГТД: учебное пособие. Самара, 2011.

20. Нанесення покриття/ Корж В.М., Кузнецов В.Д., Борисов Ю.С., Ющенко К.А. Київ: Арістей, 2005. 204 с.

21. Защитные покрытия : учеб. пособие / М. Л. Лобанов, Н. И. Кардонина, Н. Г. Россина, А. С. Юровских. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 200 с.

22. НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників».

23. ДБН В.2.5-28-2006 «Природне та штучне освітлення»

24. НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».