



УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(ЗНТУ)

РЕЦЕНЗІЯ

на дипломний проект (роботу) Дослідження довговічності

(вказати тему дипломного проекту (роботи))

робочих корозійних лопаток ГТК101 після їх захисту
по комплексній технологіїСтудент Анненков Р.В.Спеціальність 131 Прикладна механіка група МЗ-113мОбсяг проекту (роботи) робота

Кількість аркушів креслення _____

Кількість сторінок пояснювальної записки 72 стор

а) короткий зміст проекту (роботи) та прийнятих рішень в роботі
розрахунково розкозмінені робочі лопатки ГТК при
експлуатації, наведено методику дослідження на міц-
ність і корозійну стійкість покриттів, отримані
результати використані покриттів в робочих
умовах

б) висновок про відповідність проекту (роботи) завданню

виконана робота відповідає завданню

в) характеристика виконання кожного розділу дипломного проекту (роботи), рівень відповідності останнім досягненням науки та техніки і передовим методам роботи

Конси розділ виконано у відповідності
до останніх досягнень науки і техніки

г) негативні особливості виконання проекту (роботи)

- не всі скорочення внесені у перелік,
- використання краще виглядає, нульових
или нульових
- не наведено склад режиму, що утворюється при дії газової корозії

д) позитивні особливості при дослідженнях
використовувалися сучасні
засоби вимірювання

е) оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки до проекту
(роботи) пояснювальна записка вико-
нана у відповідності до стан-
дартів

є) відгук про роботу загалом В цілому робота
виконана в повному обсязі

ж) інші зауваження

з) оцінка проекту (роботи) виконана робота
досліджує сфери, великою

Рецензію склав Зав. кафедр Телів Ререс Т
(посада, місце роботи, прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

«10» 12 2012 р.

[15:02:34] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №217 [3] (200028 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[15:02:46] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №227 [3] (200059 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[15:02:59] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №232 [3] (200059 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[15:03:11] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №237 [3] (200043 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[15:03:22] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №242 [3] (200043 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[15:03:35] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №247 [3] (200043 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[15:03:47] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №252 [3] (200043 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[15:03:59] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №257 [3] (200059 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[15:04:08] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №262 [3] (200043 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[15:04:16] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №267 [3] (200028 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[15:04:29] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №272 [3] (200043 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[15:04:43] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №277 [3] (200059 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[15:04:53] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №282 [3] (200043 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[15:05:00] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №222 [3] (200043 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[15:05:14] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №287 [3] (200043 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[15:05:27] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №292 [3] (200043 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[15:05:28] Тип проверки: *Стандартная*

[15:05:28] **ВНИМАНИЕ! Уникальность может быть определена
некорректно! (Обнаружено ошибок: 27%)**

[15:05:28] **Уникальность текста 97%**[©] (Проигнорировано подстановок: 0%)

Перевірку на плагіат програмою AntiPlagiarism.NET, магістерської роботи Анненков Р.В., провів
зав. лаб. каф. ТМБ Паміров В.М.

06.12.2018р.



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Машинобудівний

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Технології машинобудування

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

другий (магістерський)

ступінь вищої освіти(освітній ступінь)

на тему Дослідження довговічності робочих порожнистих лопаток ГТК-101
після їх захисту по комплексній технології

Виконав: студент 6 курсу, групи Мз-113м
напряму підготовки (спеціальності)

131 «Прикладна механіка»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Анненков Р.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Кононов В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Дядя С.І.

(прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2018 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

Інститут, факультет _____ Машинобудівний _____
Кафедра _____ Технології машинобудування _____
Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) Другий (магістерський) _____
Спеціальність 131 «Прикладна механіка» _____
(шифр і назва)

Напрямок підготовки _____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____ ТМБ _____
_____ С.І. Дядя _____

“ _____ ” _____ 2018 року

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

_____ Анненков Роман Вячеславович _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) _____ Дослідження довговічності робочих порожнистих лопаток ГТК-10І після їх захисту по комплексній технології _____

Керівник проекту (роботи) _____ Кононов В.В., к.т.н., доцент _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “26” 11 2018 р. № 372

Строк подання студентом проекту (роботи) _____ грудень _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) 1. Робочі лопатки _____

2. Програма досліджень _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Мета і завдання дослідження . 2. Матеріал і методика дослідження. 3. Дослідження дифузійних покриттів системи Cr-Al-Si-Ti. 4. Порівняльні дослідження механічних властивостей сплавів без та з захисним покриттям. 5. Корозійна стійкість в продуктах згоряння палива 6. Прогнозування довговічності деталей ГТУ. 7. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

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

Презентація

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Науково-дослідний	Кононов В.В., доцент		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Шмирко В.І., доцент		
Нормоконтроль	Пухальська Г.В., доцент		

7. Дата видачі завдання 17 січня 2018

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	<i>Вивчення матеріалів та методик дослідження</i>	12.02.2018	
2.	<i>Виготовлення зразків для випробувань</i>	15.04.2018	
3.	<i>Випробування механічних властивостей</i>	20.08.2018	
4.	<i>Вивчення структурних перетворень</i>	25.09.2018	
5.	<i>Аналіз отриманих результатів</i>	17.10.2018	
6.	<i>Визначення стійкості покриттів в продуктах згоряння палива</i>	06.11.2018	
7.	<i>Прогнозування довговічності деталей ГТУ</i>	13.11.2018	
8.	<i>Оформлення документації</i>	28.11.2018	
9.	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	02.12.2018	
10.	<i>Захист роботи</i>	10.12.2018	

Студент _____ Анненков Р.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ Кононов В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: стор., 3 табл., 19 рис., 52 джерела.

Об'єкт дослідження – робочі лопатки турбіни високого тиску ГТК-10І.

Метою роботи є дослідження довговічності робочих порожнистих лопаток ГТК-10І після їх захисту по комплексній технології.

Методи дослідження - металографічний, мікрорентгеноспектральний. Порівняльні короткочасні і тривалі випробування механічних властивостей до і після експлуатації.

В ході роботи показано, що формування термодинамічно стабільних покриттів в складній багатокомпонентній системі ЖС - Пк (Cr - Al - Si - Ti) найефективніше здійснюється при температурі рівної або більшої температури перитектичної реакції (≈ 1130 °C). Встановлено, що міцнісні характеристики жароміцних сплавів при використанні комплексної технології захисту при температурах 800 і 850 °C не знижуються.

ЖАРОМІЦНИЙ СПЛАВ, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ВИСОКО-ТЕМПЕРАТУРНА КОРОЗІЯ, ЗАХИСНІ ПОКРИТТЯ, МІКРОСТРУКТУРА, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, ДОВГОВІЧНІСТЬ, СТРУКТУРНА СТАБІЛЬНІСТЬ, СКЛАД ФАЗ.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень та термінів.....	
Вступ	
1 Аналіз літературних джерел.....	
1.1 Сучасні захисні покриття і їх ефективність.....	
Висновки.....	
2 Матеріали і методика дослідження	
2.1 Матеріали дослідження	
2.2 Склади захисних покриттів і технологічне устаткування	
2.3 Металографічні дослідження.....	
2.4 Оцінка механічних властивостей сплавів.....	
2.5 Мікрорентгеноспектральний аналіз (МРСА) фаз.....	
2.6 Оцінка високотемпературної корозійної стійкості.....	
2.7 Прогнозування корозійної стійкості матеріалу без і із захисним покриттям.	
2.8 Установа для газодинамічних випробувань.....	
Висновки.....	
3 Дослідження дифузійних покриттів системи Cr - Al - Si- Ti.....	
3.1 Вплив температури і тривалості дифузійного відпалу на структуру покриттів.	
3.2 Механічні властивості жароміцних сплавів із захисними покриттями.....	
3.3 Дослідження жаростійкості.....	
3.4 Корозійна стійкість в продуктах згоряння палива.....	
3.5 Прогнозування довговічності деталей ГТУ.....	
Висновки.....	
4 Охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях	
Загальні висновки	
Перелік посилань.....	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

ГОСТ – Державний стандарт
ГТК – газотурбінний компресор
ГТУ – газотурбінна установка
ГПА - газоперекачуючі агрегати
ЖНС- жароміцний нікелевий сплав
ЗПк – захисні покриття
ЗМІ – Запорізький машинобудівний інститут
ЄП-Пк – електронно-проміневе покриття
КВМ – коефіцієнт використання матеріалу
МРСА – мікрорентгеноспектральний аналіз
СНД – союз незалежних держав
СНиП – система норм та правил
ТВТ – турбіна високого тиску
ТМБ – технологія машинобудування
ТО – термічна обробка
ТП – технологічний процес
Пк – покриття
ХТО – хіміко-термічна обробка

ВСТУП

Актуальність теми. Газопроводи України більш ніж на 80% застосовують імпортні газоперекачуючі установки ГТК-10І та ГТК-25І виробництва фірми «General Electric». Підвищення техніко-економічних характеристик сучасних газотурбінних установок (ГТУ), їх експлуатаційна надійність та ресурс пов'язані з надійністю найбільш тяжконавантажених деталей, насамперед, робочих лопаток ГТУ.

Один з видів пошкоджень лопаток, які знижують експлуатаційну надійність ГТУ є корозійний вплив продуктів згоряння газотурбінного палива. Останнім часом для виготовлення лопаток газових турбін, які працюють в умовах високих температур і напружень в агресивних середовищах, застосовують жароміцні нікелеві сплави з високими фізико-механічними властивостями, стабільністю структури при робочих температурах [1-7].

Проте при тривалому напрацюванні в умовах окисульфідній корозії відбувається зниження службових властивостей металу, що призводить до обмеження їх ресурсу експлуатації.

Підвищення корозійної стійкості лопаток може бути отримане різними засобами, що включають вдосконаленням хімічного складу сплавів, застосуванням захисних покриттів, здійсненням конструкторських і експлуатаційних заходів тощо.

Найбільш ефективним і поширеним засобом захисту лопаток ГТУ від корозії є нанесення на їх профільну частину захисних покриттів [1, 3-5].

Мета і завдання дослідження. Основною метою роботи було дослідження довговічності робочих порожнистих лопаток ГТК-10І їх захисту по комплексній технології.

Для досягнення цілі необхідно було вирішити наступні задачі:

- проаналізувати характер пошкодження порожнистих робочих лопаток газових турбін ГТК-10І ;
- систематизувати існуючі захисні покриття та їх ефективність;

- провести порівняльні дослідження зразків після двостороннього їх захисту;
- спрогнозувати довговічність робочих порожнистих лопаток ГТК-10І після їх захисту по комплексній технології.

1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

Конструктивні елементи газотурбінних установок (ГТУ) в процесі експлуатації схильні до, як правило, дії декількох видів навантажень, кожен з яких викликає характерний йому вид ушкодження. Так, на робочі і напрямні лопатки ГТД і ГТУ діють напруги, що визначаються комплексом статичних, вібраційних і циклічних (в загальному випадку) температурних навантажень.

Наприклад, на профільну частину робочої лопатки турбіни в сталому робочому режимі діють статичні напруги від відцентрових і газових сил, що досягають 200 МПа [1, 2]. Внаслідок температурного градієнта, усталеного в перетинах лопатки, в матеріалі виникають термічні напруги статичного характеру.

Одночасно матеріал лопатки схильний до дії високочастотних циклічних напружень, обумовлених вібрацією лопаток. Рівень цих напружень визначається конструктивними та експлуатаційними чинниками і може становити 100 МПа, а сумарні (еквівалентні) - 150 МПа [1, 2].

На пошкодження, спричинені, відповідно, статичними, втомні і термосталостними навантаженнями, накладається вплив робочого середовища, під дією якої протікають корозійні процеси.

При розгляді корозійного пошкодження деталей газових турбін, вся увага акцентується на поверхню, яка безпосередньо стикається з газовим потоком.

Ця концепція абсолютно вірна при використанні суцільних деталей. З використання полегшених, тобто порожнистих лопаток ГТУ, перш за все 1-го ступеня турбін, вона вимагає всебічного (комплексного) підходу в розгляді корозійних пошкоджень.

Таким чином, комплексний підхід в аналізі корозійного руйнування диктує насущну необхідність захисту не лише зовнішньої, але і внутрішньої поверхні профільної частини порожнистих лопаток ГТУ.

1.1 Сучасні захисні покриття і їх ефективність

Захисні покриття призначені не лише для підвищення робочих температур лопаток турбіни, які визначаються жароміцністю вживаних для їх виготовлення сплавів, а і для збільшення ресурсу і надійності роботи лопаток [3]. Застосовуються вони вже більше 50 років. На першому етапі найбільшого поширення набули алюмінідні покриття. Просте алітування робочих і направляючих лопаток турбін дозволило збільшити ресурс газотурбінних двигунів приблизно в два рази при температурі 850 °С [4]. Проте, ці покриття ефективні лише при такому типі корозії як високотемпературне окислення за рахунок утворення бар'єрного шару з оксиду алюмінію. Використання низько-сортного палива різко знижує їх ефективність.

Алюмінідні покриття, леговані хромом, кремнієм, танталом, ніобієм і іншими елементами [3, 5] володіють вищою корозійною стійкістю в порівнянні з простим алітуванням, а також перевершують їх по термостабільності, пластичності і термосталостній міцності. Наносять їх на лопатки різними методами: дифузійним (у порошках з галогенідними активаторами і у вакуумі), шлікерним, металізацією і ін. Товщина їх знаходиться в межах 40...100 мкм. Ці покриття ефективні при використанні в газових турбінах високоякісного палива. В умовах інтенсивної оксисульфідної корозії термін служби їх невеликий, оскільки інтерметаліди нікелю нестійкі у контакті з сульфатом натрію і в його суміші з хлоридом натрію [6, 7].

Широкого поширення за кордоном набули алюмінідні покриття з підшаром з дорогоцінних металів (наприклад, платини, родію). До них можна віднести такі покриття, як LDC - 2, RT - 22, RT - 22A, RT - 44 і ін. Вони характеризуються високою стійкістю проти оксисульфідної корозії [8].

Товщина цих покриттів складає 70...80 мкм, основа NiAl, що містить алюмінід платини PtAl₂.

Оскільки покриттям LDC - 2 властива пористість платинового шару, можливість концентрації забруднень на кордоні платини з підкладкою, розроблені вдосконалені покриття на їх основі JML - 1 і JML - 2 [8]. Шари платини, що входять в їх склад, формують з розплаву солей.

Поряд з алюмінідними застосовують і силіцидні покриття. Використовуються вони, в основному, в турбінах малої потужності з робочою температурою до 730 °С. Характеризуються вони великою крихкістю силіцидного шару, низькою температурою плавлення (985 °С) евтектики, що утворюється силіцидами нікелю, поганою термосталістю, погіршенням механічних властивостей основного металу із-за дифузії в нього кремнію. В зв'язку з цим вони модифікуються хромом і танталом [9].

У газових турбінах, що працюють на доменному газі і залишкових нафтопродуктах, використовуються покриття, що отримуються дифузійним хромуванням [10]. Проте хромові покриття крихкі, нестійкі при циклічних навантаженнях.

Широке вживання в газотурбобудуванні знайшли покриття, що отримуються осадженням у вакуумі [11]. Вони відрізняються незалежною від підкладки, що захищається, структурою, володіють кращою жаростійкістю [12] і особливо корозійною стійкістю [13], можливістю в широких межах варіювати їх хімічний склад, добиваючись мінімальної внутрішньої напруги на кордоні розділу покриття - основа.

Найбільшого поширення набуло покриття типу Me - Cr - Al - Y. Залежно від призначення і умов роботи виробів, що захищаються, як основа (Me) використовують залізо, кобальт або нікель і їх поєднання [14-16]. Товщина цих покриттів зазвичай складає 80...150 мкм.

Вдосконалення корозійних властивостей електронно-променевого покриттів здійснюється за рахунок ускладнення їх хімічного складу шляхом введення добавок кремнію, титану, платини, гафнію, танталу і ін. [17], а також за рахунок здобуття композитних покриттів, якимось: двошарове, отримане на початку шляхом електронно-променевого напилення шару Со -

- Cr - Al - Y (АТД - 2) завтовшки 100...140 мкм з подальшим його платинованням (завтовшки шару 4...8 мкм) гальванічним методом і відпалом при температурі 1080 °С протягом 4 годин у вакуумі або електронно-променеве нанесення сплаву Co - Cr - Al - Y, а потім - катодне напилення платини [18]; двошарове із зовнішнім шаром, збагаченим кремнієм (10...50 мас. %), перший шар якого наноситься електронно-променевим методом Me - Cr - Al - Y (Hf) з подальшим нанесенням тим же або дифузійним методом шару кремнію [19].

З метою виключення межкристалітної пористості (між стовпчастими кристалами), лусочок і ін., зазвичай, виробляється обробка покриттів дробом, подальша ХТО або обробка методом гарячого ізостатичного пресування [20].

Вдосконалення технології нанесення металевих покриттів, що отримуються двома етапами, з градієнтною зміною хімічного складу по кобальту або алюмінію [21], рівномірному введенню невеликих кількостей оксидної фази в матрицю [22] не вирішило проблему значного підвищення високотемпературної газової корозійної і ерозійної стійкості.

Ця проблема значною мірою вирішується при використанні діоксиду цирконію [23], стабілізація високотемпературної модифікації якого вирішується додаванням MqO , CaO , Y_2O_3 , де оксид ітрію надає найбільший ефект зміцнення [24]. Найкращою термостійкістю характеризується покриття Me - Cr - Al - Y / $ZrO_2 - 8\% Y_2O_3$ [25].

Для захисту зовнішньої поверхні робочих лопаток ГТУ найнадійніше і ефективно використовуються електронно-променеві покриття типу Co - Cr - Al - Y [26]. Проте, технологія їх нанесення не дозволяє наносити захисне покриття на вузькі внутрішні канали деталей. Тому як альтернативні тут можуть бути вибрані захисні покриття, а отже, і технологія їх нанесення, які б дозволяли якнайповніше поєднувати їх з електронно-променевим покриттям, як по режимах нанесення (температура, тривалість циклу термообробки), а також за строком експлуатації.

В зв'язку з цим шлікерна (суспензійна) технологія нанесення захисних покриттів на внутрішню порожнину лопаток ГТУ має переваги перед іншими відомими способами, такими, наприклад, як нанесення покриттів з газової фази [27-29], в засипці з порошоків [30, 31].

В даний час двосторонній захист робочих лопаток ГТУ здійснюється за комплексною технологією, розробленою ЗНТУ спільно з ІЕС ім. Е.О. Патона [32, 33].

Висновки

Для захисту зовнішньої поверхні робочих лопаток ГТУ найбільш ефективно використовуються електронно-променеві покриття типу $Co - Cr - Al - Y$.

Для захисту внутрішніх поверхонь вибрані шлікерні (суспензійні) покриття тому що технологія їх нанесення має переваги перед іншими способами.

2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Матеріали дослідження

Розвиток ливарних жароміцних сплавів на нікелевій основі пов'язаний, передусім, з тим, що в порівнянні з деформованими сплавами в них можна досягти більшого зміцнюючого ефекту за рахунок γ' - фази і карбідів, більш високої структурної стабільності [34]. Їх різноманіття зване з рівнем робочих температур і вимогами, що пред'являються до властивостей сплавів при цих температурах (зокрема, тривалій міцності, корозійній стійкості).

Важливою перевагою матеріалів цього класу є також можливість відливати з них тонкостінні охолоджувані лопатки складної конфігурації, виготовити які методами кування і штампування практично неможливо. Застосування ливарних жароміцних сплавів для лопаток ГТУ значною мірою сприяли успіхи в розробці керамічних матеріалів, оснащення і устаткування, що дозволяють отримувати відливання з каналами для охолодження. Для стаціонарних газових турбін широке поширення отримали жароміцні корозійностійкі сплави на нікелевій основі ЭП-539ЛМ, ЧС-70ВІ, а також сплави, розроблені ЗНТУ - ЗМІ- 3 і ЗМІ-3У замість імпортованих сплавів ІN - 738. Використовуються вони для виготовлення робочих лопаток газових турбін ТВД ГТК-10І.

Хімічний склад досліджуваних жароміцних сплавів приведений в таблиці 2.1.

2.2 Склади захисних покриттів і технологічне устаткування

Для захисту зовнішньої поверхні досліджуваних зразків і робочих лопаток використовуються покриття, що конденсують, розроблені ІЕЗ ім. Є.О. Патона, що наносяться на вакуумній електроннопроменевій установці УЕ-175М [35]. Склади, використовуваних при дослідженнях електронно-променевих покриттів (ЕП-Пк) представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 - Хімічний склад досліджених ливарних ЖНС

Марка сплаву	Вміст елементу, % за масою														
	C	Cr	Co	Al	Ti	Mo	W	Nb	Ta	Hf	Ni	Re	Ru	Zr	B
ЗМІ-3	0,1	13,2	5,5	2,9	4,9	1,8	4,5	-	-	-	осн.	-	-	-	-
ЗМІ-3У	0,11	13,2	5,0	3,4	4,8	0,9	7,3	-	-	-	осн.	-	-	-	0,015
ЧС70	0,09	15,8	10,7	2,8	4,6	2,0	5,5	0,2	-	-	осн.	-	-	0,050	0,020
ІN-738	0,10	16,0	8,5	3,4	3,4	1,75	2,6	0,9	1,75	-	осн.	-	-	0,050	0,010
ЕП-539	0,07	18,0	19,0	3,0	3,0	4,2	-	-	-	-	осн.	-	-	0,05	0,007
ЕІ-929	0,06	15,5	17,0	4,7	3,5	5,0	-	-	-	-	осн.	-	-	0,02	0,030

Таблиця 2.2 - Хімічний склад електронно-променевих покриттів

Марка покриття	Вміст елементу, % за масою			
	Co	Cr	Al	Y
СДП-11А	осн.	26...28	4,5...6,5	0,2...0,6
СДП-8	осн.	25...28	9...11	0,2...0,6

Прочностні характеристики, довговічність і якість цих покриттів визначаються підготовкою напилюваної поверхні виробу. Чистота поверхні повинна бути не нижче 8 класу (досягається поліруванням), нерівності, включаючи і поверхневі дефекти, виключаються.

Після напилення виробляється перший рівень дифузійного відпалу при температурі 1030...1130 °С, 2 г в електротермічній вакуумній печі типа СШВ 8.12/13 ЕМ1 або «Schmetz». Перед другим рівнем термообробки виконується зміцнююча дробеструйна обробка склокульками величиною 170...200 мкм на дробеметній установці УДМ-2.

Захист внутрішніх порожнин зразків і порожнистих робочих лопаток ГТУ виробляється за технологією, розробленою ЗНТУ спільно з ІЕЗ ім. Є.О. Патона.

Склади вживаних суспензійних покриттів представлені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Хімічний склад дифузійних покриттів

Покриття	Вміст елементу, % за масою				
	Cr	Al	Si	Ti	Fe
Al - Si	-	80...88	12...20	-	-
Cr - Al - Si	8...10	70...80	10...12	-	-
Cr - Al - Si- Ti	16...25	65...72	6...10	1...5	-
Cr - Fe	70	-	-	-	30

Затвердіння суспензії виробляється в електропечі типа ОКБ 8115. Режим формування суспензійного покриття повністю поєднаний з другим рівнем дифузійного відпалу ЕП-Пк Со – Cr – Al – Y.

Технологічний процес здобуття деталей ГТУ з двостороннім захисним покриттям виглядає таким чином.

1. Виготовлення литої деталі (робоча лопатка з внутрішньою порожниною по перу).

2. Підготовка поверхні пера під покриття:

а) внутрішня порожнина:

- хімічне труєння;
- повітряноабразивна обробка;

б) зовнішня поверхня:

- шліфування;
- полірування.

3. Нанесення електронно-променевого покриття Со – Cr – Al – Y на зовнішню поверхню лопатки на установці УЕ-137 і УЕ-175.

4. Термічна обробка:

- дифузійний відпал зовнішнього електронно-променевого покриття Со – Cr – Al – Y (вакуум $10^{-4} \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст.).

5. Дробеструйная обробка електронно-променевого покриття макрокульками.

6. Нанесення на внутрішню поверхню покриття з суспензії (з низькотемпературним випаленням на повітрі).

7. Остаточна термічна обробка:

- високотемпературний відпал лопаток у вакуумі із зовнішнім і внутрішнім покриттями, який поєднує режими дифузійного відпалу покриття на внутрішній поверхні і остаточної термообробки лопаток з електронно-променевим покриттями.

8. Контроль готового виробу.

2.3 Металографічні дослідження

Дослідження мікроструктури проводилися на нетруєних і труєних мікрошліфах під мікроскопом "Неофот-2" і мікроскопом-аналізатором "Стереоскан". Мікротвердість вимірювали приладом ПМТ- 5. Фазовий склад і періоди грат основних складових - на дифрактометре ДРОН- 1 в мідному К α - випромінюванні. Зміст хімічних елементів - на рентгеноспектральному мікроаналізаторі Cameca MS - 46.

Мікроструктура виявлялася за допомогою того, що труїть поверхні шліфів реактивом Марбле - CuSO_4 - 4 г, HCl - 20 мл, вода - 20 мл по режиму: труїть 10 - 15 секунд, промивання водою, сушка гарячим повітрям. Для виявлення евтектики $\gamma+\gamma'$ і γ' - фази використовувався реактив CuSO_4 - 20 г, H_2SO_4 - 5 мл, решта - H_2O , щільність струму - 500 А/м². Для виявлення карбідів, використовувався реактив NaF - 30 г, HCl - 100 мл, лимонна кислота - 100 г, H_2O - 1000 мл, щільність струму - 200 А/м². Для ідентифікації σ - фази і карбідів типу M_6C , що мають схожу голчасту морфологію, проводилося кольорове те, що труїть за допомогою реактиву: червона кров'яна сіль - 10 г, NaOH - 10 г, H_2O - 100 мл, щільність струму 500 А/м².

З метою зведення відносної помилки до мінімуму, на зразки (пластини)

наносили термофарбу TP- 5 і TP- 8, а термополя фіксували після 10...15 хв стабілізації режиму випробувань.

Таким чином, вибір для досліджень порожнистих зразків, створення їм складного обертального руху із забезпеченням попадання газового потоку у внутрішню порожнину (включаючи термоцикли), обробка результатів випробувань з урахуванням особливостей двостороннього корозійного ушкодження дає можливість прогнозувати корозійну стійкість порожнистих деталей ГТУ.

2.4 Оцінка механічних властивостей сплавів

Випробування на короточасну міцність (ГОСТ 1497-61, ГОСТ 9651-61, ГОСТ 1497-84) проводили на стандартних циліндричних зразках (діаметр робочої частини 5мм, довжина 25мм) при температурах 200, 800, 900 і 1000⁰С на розривній машині марки УМЭ-10ТМ. Випробування на тривалу міцність (ГОСТ 10145-81) проводили на стандартних циліндричних зразках при температурах 20, 750, 850 ⁰С і відповідних навантаженнях 600, 400, 180 МПа на машині АИМА- 5-2 шляхом одновісного розтягування зразків при постійному навантаженні. Відносне подовження зразків фіксували за допомогою механічних тензометрів (рис. 2.1).

При кожному рівні навантаження випробовували по 3 - 5 зразків.

Для оцінки міри зниження міцнісних характеристик досліджуваних сплавів в результаті тривалої теплової дії при температурах 750⁰ і 850⁰С з різною базою старіння 1000, 3000, 5000 годин проводили додаткові випробування зразків відповідно до вищезгаданих стандартів.

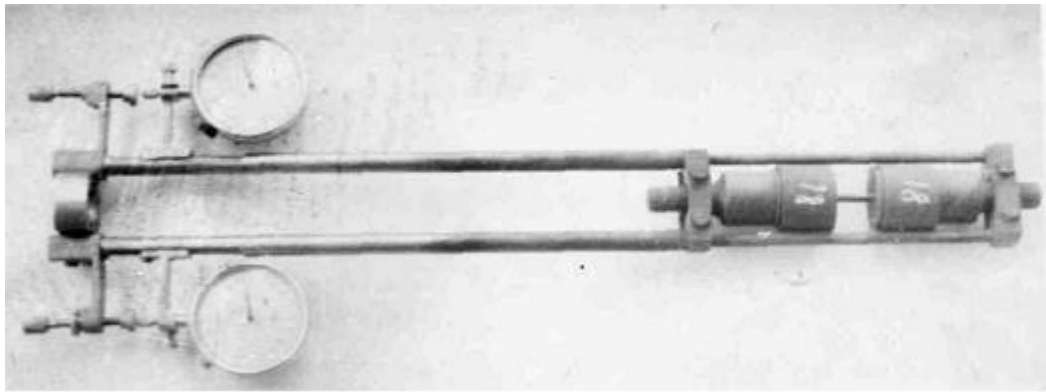


Рис. 2.1 - Механічний тензометр із зразком в захопленнях

2.5 Мікрорентгеноспектральний аналіз (МРСА) фаз

Для ідентифікації фаз в сплавах використовувався метод локального мікрозондського аналізу. Прискорююча напруга 10 кВ, діаметр електронного зонду 4 нм (40Å). Дослідження хімічного складу фаз здійснювалося на приставці МРСА до растрового електронного мікроскопа JEOL JSM - 63601a з системою енергодисперсійного рентгеноспектрального мікроаналізу JED - 2300. За допомогою цього методу досліджували зміни морфології і складу γ' - фази, евтектики $\gamma - \gamma'$, карбідної фази до і після тривалої теплової дії. Переклад значень якісного в кількісний аналіз робився автоматично за програмою приладу.

2.6 Оцінка високотемпературної корозійної стійкості

Порівняльні експериментальні дослідження ВТК - стійкості зразків сплавів проводилися в синтетичній золі за методикою, розробленою Нікітіним В.І. (ЦКТІ ім. І. І. Ползунова), яка широко застосовується в галузі. Для корозійних випробувань використовувалися стандартні циліндричні зразки (діаметр $\varnothing 10$ мм, довжина $l = 12$ мм), на які після попереднього знежирення, вимірювання і зважування на аналітичних вагах з точністю ($\pm 0,0005$ г), наносилася на їх поверхню синтетична зола в кількості $12 \text{ мг} / \text{см}^2$, що імітує продукти згоряння газотурбінного палива наступного складу: Na_2SO_4 - 66,2%;

Fe₂O₃ - 20,4% ; NiO - 8,3% ; CaO - 3,3% ; V₂O₅ - 1,8%, за масою, які розміщувалися і витримувалися в печі на платформі з вогнетривкого матеріалу в повітряній атмосфері. Порівняльні корозійні випробування проводилися в синтетичній золі за температур 800⁰, 850⁰, 900⁰ і 950⁰С протягом (100...300) годин. Після проведення експериментів продукти корозії вилучалися за методикою водневого відновлення окалини, розробленої ЦКТІ ім. І.І. Ползунова. Порівняльна стійкість зразків досліджуваних сплавів до ВТК оцінювалася за питомою втратою маси (q , г/м²) і середньою швидкістю корозії (\bar{V}_q , г/м²·с).

Питома втрата маси (q , г/м²) розраховувалася за формулою (2.1):

$$q = \frac{\Delta m}{S}, \quad (2.1)$$

де Δm - втрата маси зразка після видалення продуктів корозії, г ;

S - площа поверхні зразка, м².

Середня швидкість корозії (\bar{V}_q , г/м²·с) розраховувалася за формулою (2.2):

$$\bar{V}_q = \frac{q}{\tau}, \quad (2.2)$$

де τ - тривалість випробувань, с.

2.7 Прогнозування корозійною стійкості матеріалу без і із захисним покриттям

Відповідно до мети і завдань справжньої роботи був проведений аналіз існуючих методів корозійних випробувань, які можна розділити, умовно, на наступні види [36]:

- прискорені лабораторне випробування на спеціальному устаткуванні і дослідних установках;
- стендове випробування елементів конструкцій в умовах, моделюючих реальне;
- експлуатаційні випробування конструкцій в натурних установках.

Останній вид випробувань є найбільш об'єктивним, що враховує весь комплекс експлуатаційних, конструкторських і технологічних чинників, визначальну надійність і довговічність роботи лопаток. Проте, його не можна вважати універсальним, оскільки термін служби стаціонарних ГТД складає десятки тисяч годин, а в міжремонтні ресурси при обстеженні деталей не можна застосувати руйнівні методи дослідження процесів пошкодження зважаючи на подальшу експлуатацію.

В зв'язку з цим для оцінки корозійною стійкості застосовували два перші види корозійних випробувань. Найбільш простим методом, використовуваним для прискореного випробування матеріалів ГТУ, є випробування в тиглі [36]. Випробовуваний зразок частинно або повністю занурюється в розплав солі, частіше – сульфату натрію або суміші Na_2SO_4 і NaCl [37, 38]. Використовують також штучну золу, імітуючу склад обкладень на лопатках ГТУ [39], або природні золіві відкладення [40].

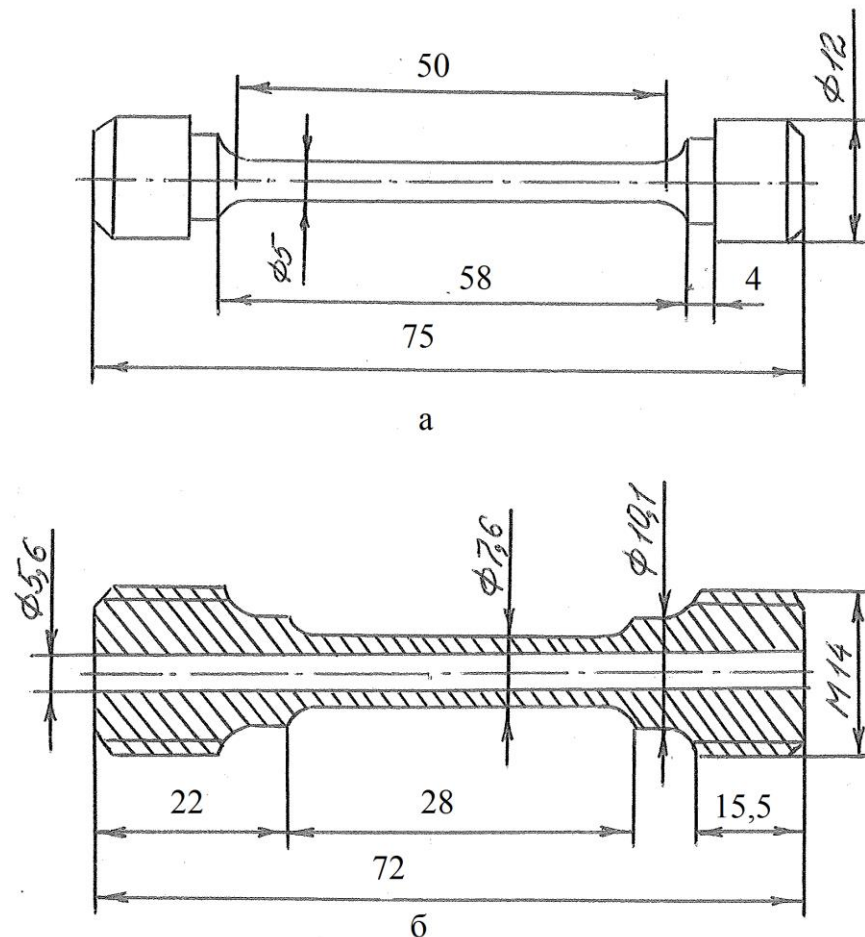
В той же час простота тигельних випробувань має ряд недоліків, перш за все: їх умови вельми далекі від русловій, що виникають в турбіні або двигуні і вони непридатні для порівняння в умовах високотемпературної корозії сплавів, що відрізняються по зімічеському складу [41]. Проте, Грехем і ін. [40], зіставивши дані випробувань в розплаві $90\% \text{Na}_2\text{SO}_4 + 10\% \text{NaCl}$ з випробуваннями на стенді, показали їх збіг, переважно, для сплавів із задовільною корозійною стійкістю.

Враховуючи особливості корозійного пошкодження порожнистих деталей ГТУ для дослідження, поряд з випробуваннями по ГОСТ 9651-84 («Метали. Методи випробування на розтягування при підвищених температурах») були проведені випробування по методиці, розробленій для прогнозування

корозійною стійкості деталей з використанням порожнистих циліндрових зразків [42], форма яких показана на рисунку 2.2. Переваги в цьому випадку виражаються в забезпеченні корозійної двосторонньої дії як на зовнішню, так і на внутрішню поверхні зразків.

Методика прогнозування корозійною стійкості деталей представлена у вигляді схеми алгоритма прогнозування довговічності деталей ГТУ зображена на рисунку 2.3.

Корозійне руйнування оцінювали по сумарній дії декількох чинників, а саме: на газодинамічному стенді; корозійному насиченні синтетичною золою; геометрія вихідної поверхні до і після випробувань.



а – суцільний циліндровий зразок ГОСТ 9651-84;

б – порожнистий циліндровий зразок.

Рисунок 2.2 – Зразки для механічних випробувань на короточасну та тривалу міцність

Суть її полягає в паралельному дослідженні корозійного пошкодження натурних лопаток після експлуатації в газовій турбіні 5000, 10000, 15000 і 20000 годин і порожнистих зразків після випробування на газодинамічному стенді в швидкісному газовому потоці в продуктах згоряння «важкого»



Рисунок 2.3 - Схема алгоритма прогнозування довговічності деталей ГТУ

палива при 800. 900 °С 50, 100, 150 і 200 годин відповідно плюс подальше окислення при 800. 850 °С, 100 годин в обмазке синтетичною золою (10-15 кг/см²). При цьому зразки піддавали термоциклуванню.

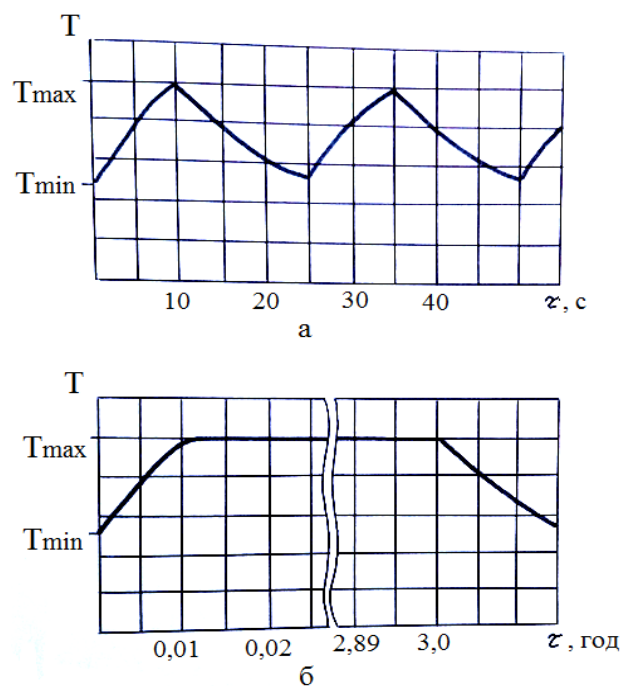
Зіставлення результатів такого комплексного підходу до вивчення корозійної стійкості дає можливість прогнозувати довговічність металу лопаток при їх експлуатації в реальних умовах.

При цьому: вміст сірки в паливі в процесі корозійних випробувань підтримували на рівні 1 %, для чого використовували сірчисту присадку ОТП (ОСТ 38.01-8-71) з вмістом сірки 18 %; - суміш солей Na_2SO_4 і NaCl готувалася у вигляді водного розчину і вприскується в газовий потік продуктів згоряння в кількості близько $5 \cdot 10^{-3}$ %.

Для корозійного насичення металу зразків використовувалася синтетична зола газотурбінного палива .

Температурні умови вибирали виходячи з температурного стану робочих лопаток перших рівнів стаціонарних газових турбін $T = 700 \dots 950$ °С, для ГТК-10І при характерних швидкостях зміни температури $20 \dots 50$ о/с .

Для моделювання були вибрані відповідно і термоцикли. На рисунку 2.4 відображений характер зміни температури зразків.



а – термоциклічний режим;

б - термостатичний режим.

Рисунок 2.4 – Характер зміни температури об'єктів дослідження

Слід зазначити, що в процесі одного випробування максимальна і мінімальна температура, швидкості нагріву і охолодження залежать від

розташування об'єктів випробування. Режим роботи стенду задається температурою контрольної зони.

2.8 Установа для газодинамічних випробувань

Схема установки в термостатичному і термоциклічному режимах зображена на рисунках 2.5 і 2.6.

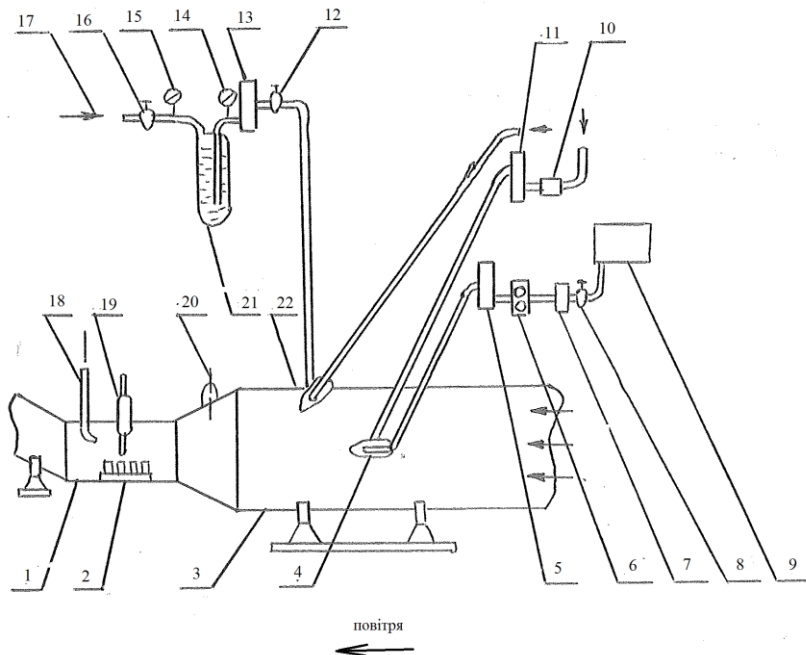


Рисунок 2.5 – Схема установки для високотемпературних корозійних випробувань в термостатичному режимі

Основні технічні характеристики установки:

- діапазон робочих температур 400...1100 °С;
- витрата палива 2...5 кг/год;
- витрата повітря 40...120 кг/год;
- співвідношення повітря/паливо 17...40;
- тиск атмосферний;
- швидкість газового потоку 5...10 м/с.

Рідке паливо з бака через фільтр 7 подається шестерним насосом 6 у форсунку 4, де розпилявся потоком повітря і згорає в об'ємі камери згорання 3.

Витрата палива і повітря, що йде на те, що розпиляло, контролюється витратомірами ротаметричного типа 5.11.

У об'єм камери згоряння вводиться контрольована кількість водорозчинних солей натрію через систему, що включає ємність 21 з розчином солей, повітряну магістраль 17 від компресора для створення надлишкового тиску в ємності за допомогою редуктора 16, вентиля 12 регулювань витрати і

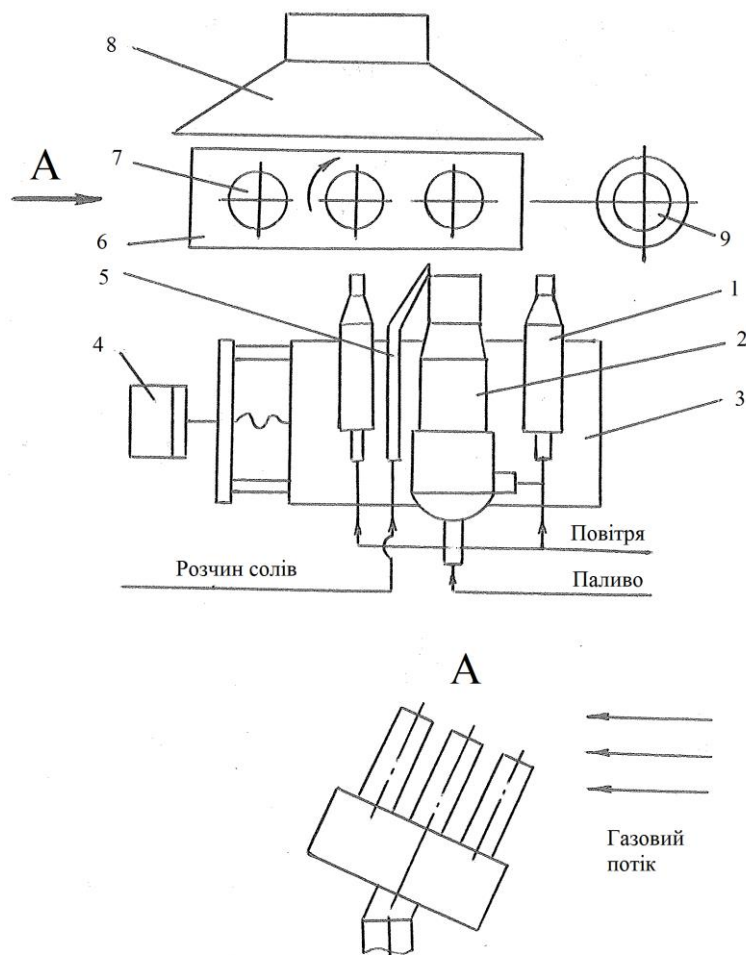


Рисунок 2.6 – Схема установки для високотемпературних корозійних випробувань порожнистих зразків в термоциклічному режимі

расходомера ротаметричного типа 13. Розчин солей подається до форсунки 22, де розпилявся потоком повітря, що поступає від компресора.

Газовий потік з камери згоряння 3 поступає у випробувальну камеру 1, забезпечену електропідігрівом для вирівнювання температурного поля за

об'ємом камери, де на спеціальних керамічних платформах 2 розміщуються зразки.

Перед проведенням випробування проводилося термоциклування простору випробувальної камери з використанням зразків з термопарами.

В процесі експерименту тепловий стан об'єктів дослідження контролювався термопарою в центрі випробувальної камери. Температурний профіль газового потоку біля входу у випробувальну камеру визначався п'ятиточковими термопарами.

Середня тривалість випробувань 100...120 годин, в окремих випадках до 200 годин. Температура випробувань 800, 850, 900 °С. Випробування велися окремими 6...7 годинними етапами, в перервах між якими зразки поміщалися в ексикатор для уникнення конденсації вологи на поверхні.

Зразки після випробувань досліджувалися методами вагового, металографічного, рентгеноструктурного фазового і мікрорентгеноспектрального аналізів.

В процесі випробувань вироблялося періодичне зважування зразків. Після випробувань продукти корозії віддалялися по методиці водневого відновлення окалини, розробленою ЦКТІ ім. І.І.Ползунова.

Висновки

Для металографічних досліджень використовуються сучасні: мікроскопом "Неофот-2", мікроскопом-аналізатор "Стереоскан". Мікротвердість вимірювали приладом ПМТ- 5. Фазовий склад і періоди грат основних складових - на дифрактометре ДРОН- 1 в мідному К α - випромінюванні. Зміст хімічних елементів - на рентгеноспектральному мікроаналізаторі Самеса MS - 46.

Випробування на короткочасну міцність (ГОСТ 1497-61, ГОСТ 9651-61, ГОСТ 1497-84) проводили на стандартних циліндричних зразках при температурах 200, 800, 900 і 1000⁰С на розривній машині марки УМЭ-10ТМ.

Для ідентифікації фаз в сплавах використовувався метод локального мікрондського аналізу на приставці МРСА до растрового електронного мікроскопа JEOL JSM - 63601a с системою енергодисперсійного рентгено-спектрального мікроаналізу JED - 2300.

Порівняльні експериментальні дослідження ВТК - стійкості зразків сплавів проводилися в синтетичній золі за методикою, розробленою Нікітіним В.І. (ЦКТІ ім. І. І. Ползунова).

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИФУЗІЙНИХ ПОКРИТТІВ СИСТЕМИ

Cr - Al - Si- Ti

3.1 Вплив температури і тривалості дифузійного відпалу на структуру покриттів

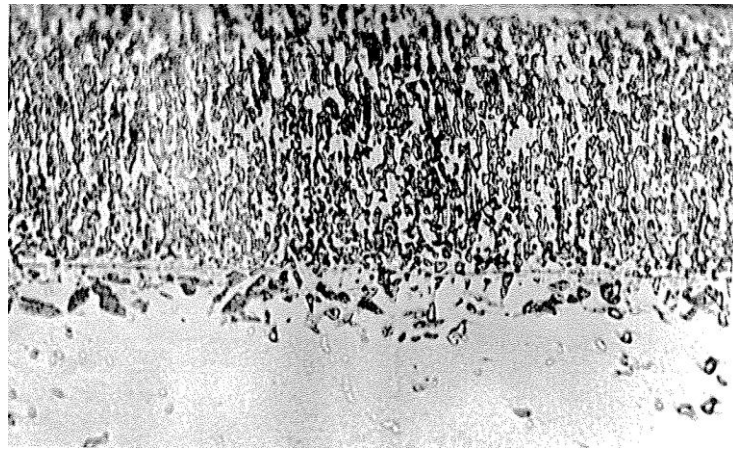
Вибір режимів термічної обробки зв'язаний з врахуванням фізико-хімічних особливостей сплаву (температура розчинення фаз), умов експлуатації (ресурс і рівень температур, що діють, і напруги), а також параметрів теплової технологічної дії при виготовленні лопаток (наприклад, нанесення покриттів).

У зв'язку з цим температуру і тривалість дифузійного відпалу формування захисного покриття визначали з врахуванням максимального збереження механічних і фізико-хімічних властивостей сплаву, що захищався.

Структура що до конденсованих покриттів типа Co – Cr – Al – Y, вживаних для захисту зовнішньої поверхні робочих лопаток, досить вивчена в рівноважному стані (відпал 1040...1130 °C, 2...4 години у вакуумі) [43], є γ - твердий розчин на основі кобальту, що містить до 25 % Cr і 3 % Al, в якому знаходяться частки інтерметалліда β – CoAl (до 30% за об'ємом) і α – Cr (рис. 3.1). Фаза β - CoCr, яка є в покриттях безпосередньо після осадження, в результаті відпалу розчиняється в твердому розчині. Оскільки хром знижує розчинність алюмінію в кобальті, надлишковий алюміній витрачається на утворення β – CoAl.

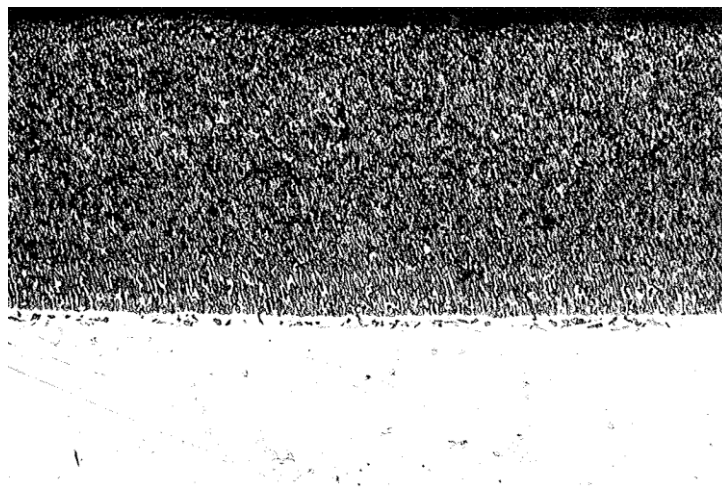
Для аналізу фазового складу покриттів, що облягають на жароміцні нікелеві сплави, використовують ізотермічні розрізи діаграм стану Ni – Cr - Al) [44]. Інтерметаллід γ' - Ni₃Al має ГЦК-грати, фази β – NiAl и β – CoAl– ОЦК-грати.

У β – NiAl розчинність хрому при 20 °C складає 2,5 %, а при 1445 °C – близько 10 %. Із зменшенням вмісту алюмінію в інтерметалліді NiAl розчинність в нім хрому зростає.



а

х 400



б

х 400

а – сплав IN-738;

б – сплав ЧС-70.

Рисунок 3.1 – Структура ЕП-Пк Co – Cr – Al – Y на зовнішній поверхні лопаток

Обмежуючи утворення γ' - фази, хром в покриттях Ni – Cr – Al – Y сприяє збереженню фази β – NiAl протягом довшого часу, коли алюміній витрачається на утворення окалини α – Al₂O₃ або дифундує з покриття в сплав, що захищається.

Відповідно до діаграми фазової рівноваги в конденсатних системах Ni – Cr – Al при 1020 °C повинен спостерігатися перехід $\gamma + \beta \leftrightarrow \alpha + \gamma'$ [44].

При більш високих температурах в структурі покриттів переважають $\gamma + \beta$ – фази, а при зниженні температури, ближче до кордону розділу з поверхнею охолоджуваної лопатки, що захищається, розширюється область існування $\alpha + \gamma'$ - фази.

Для суспензійного покриття типу Cr - Al - Si- Ti встановлено, що при температурі дифузійного відпалу, рівній або більше температури перитектичної реакції (≈ 1130 °C), за 2...4 години формуються шари 120...160 мкм і більше. Явно виражена гетерогенна структура шару формується на основі композицій Cr - Al – Si і Cr - Al - Si- Ti з вмістом хрому 15...20 і титану 4,5...6 мас. % при вмісті кремнію близько 8 мас. % (рис. 3.2). Якщо при цьому температура дифузійного відпалу перевищує температуру перитектичної реакції вміст хрому і титану перевищують їх граничну розчинність в розплаві $(Cr - Al - Si)_\text{ж}$ і $(Cr - Al - Si - Ti)_\text{ж}$, то товщина покриття знижується майже в два рази (з 140 до 80 мкм) [45, 46].

При відносно більш низьких температурах дифузійного відпалу, зокрема, при 1080 °C, 4 години, структура шлікерних покриттів Cr - Al - Si- Ti значно відрізняється (рис. 3.3) від аналогічних з гетерогенною структурою (рис. 3.2) і повністю збігається з добре відомими з літератури.

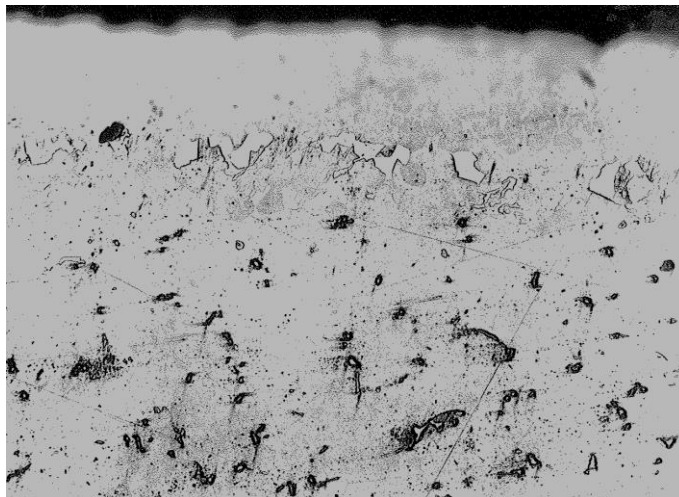
Обумовлено це тривалим існуванням рідкої фази в шлікері за рахунок заміни з'єднання Ni_3Al з температурою плавлення 854 °C з'єднанням $NiAl$, легованим вольфрамом, молібденом.

Визначальним чинником при формуванні покриття є хімічний і фазовий склад основи, який визначає кількісний перехід нікелю і легуючих елементів в покритті [47].

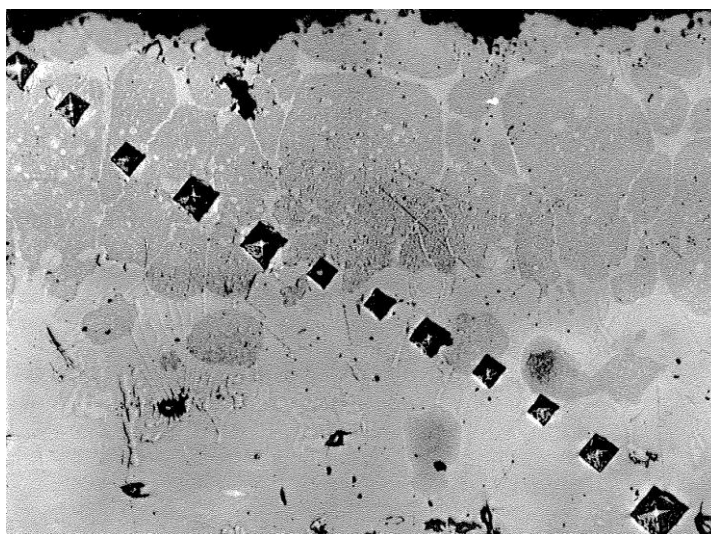
3.2 Механічні властивості жароміцних сплавів із захисними покриттями

Досліджувані склади захисних покриттів роблять вплив на механічні

властивості жароміцних сплавів, яке обумовлене, перш за все, механічною характеристикою з'єднань, створюючих покриття механічною характери-



а x 200



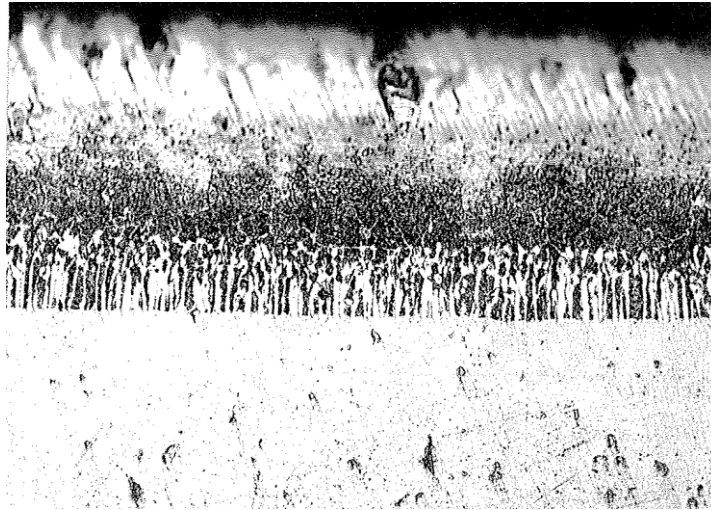
б x 400

а – сплав ЗМІ-3У, $T_{\text{до}} = 1130^{\circ}\text{C}$, 2 год.;

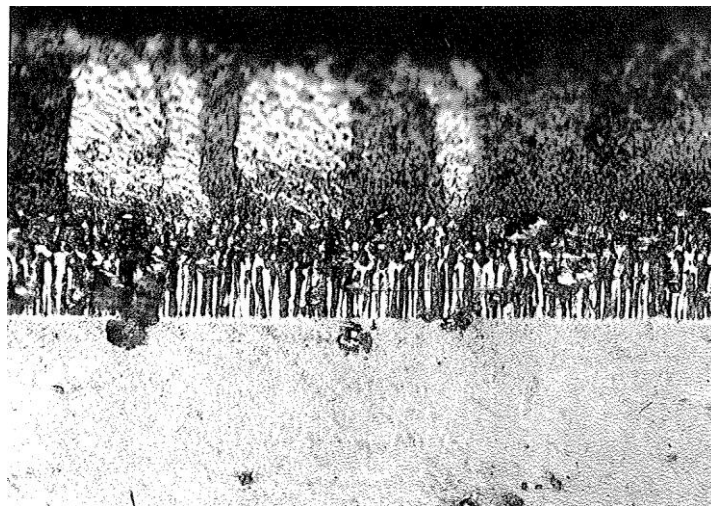
б – сплав ЭП-539. $T_{\text{до}} = 1130^{\circ}\text{C}$, 2 год.

Рисунок 3.2 – Структура шлікерного покриття Cr - Al - Si- Ti

тикою сплаву, що захищається, співвідношенням між товщиною покриття і розміром перетину зразка, взаємодією між покриттям і сплавом, що захищається, в процесі високотемпературних випробувань.



а x 400



б x 300

а – сплав сплав IN-738, $T_{до} = 1080$ °C, 4 год.;

б – сплав ЗМИ-3У, $T_{до} = 1050$ °C, 4 год.

Рисунок 3.3 – Структура шлікерного покриття Cr - Al - Si- Ti

Вплив температурного циклу нанесення покриття на механічні властивості сплаву, що захищається, виключено за рахунок поєднання термоциклу формування покриття і прийнятою термообробкою сплаву, а також поєднання його з відновною термообробкою при повторному використанні.

При двосторонньому захисті з використанням електронно-променевих покриттів СДП-11А і СДП-8 і суспензійних Cr - Al - Si - Ti (завтовшки 60...80 і 80...120 мкм відповідно) зниження механічних властивостей металу не спостерігається в порівнянні з незахищеними зразками.

Вплив досліджуваних покриттів на тривалу міцність сплавів ЗМІ-3 і ЗМІ-3У зв'язаний, перш за все, з особливостями їх руйнування в корозійному середовищі при високих температурах. Корозія в процесі іспитів сприяє утворенню поверхневих тріщин і розвитку руйнування. Нанесення захисних покриттів оберігає поверхню від корозійного руйнування, сприятливо позначається на їх тривалій міцності.

З рисунків 3.4 і 3.5 видно, що вживання захисних покриттів забезпечує сплаву ЗМІ-3У рівень тривалої міцності при 800 і 850 °С не нижче, ніж сплаву без покриття. При цьому, розтріскування захисного шару і відділення його від підкладки не походить, не спостерігається і вогнищ місцевої корозії.

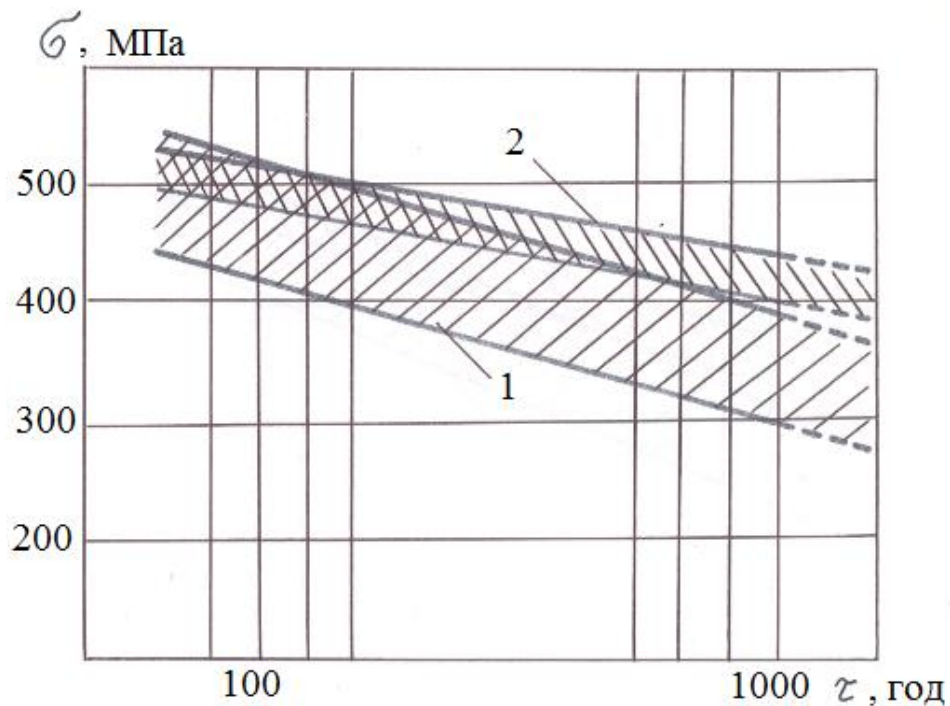
Інтенсивність дії корозійного середовища на матеріали в умовах випробування на довготривалу міцність залежить від застосованої термічної обробки. Зразки, які пройшли старіння 850 °С, 24 години володіють рівнем тривалої міцності вище, ніж зразки без старіння.

3.3 Дослідження жаростійкості

Жаростійкість зразків з покриттям визначали в окислювальній атмосфері при 800 і 850 °С. В процесі випробувань необхідно було отримати жаростійкий оксид на поверхні покриття, що виконує захисні функції, дифузію елементів покриття в захисний оксид, дифузію елементів покриття в сплав, що захищається, дифузію елементів сплаву в покриття.

Оскільки зовнішню зону суспензійного покриття складає з'єднання Ni – Al, то на поверхні покриття в початковий момент випробувань формується захисний оксид Al_2O_3 .

Збільшення часу іспитів жаростійкості приводить до погіршення його зчеплення з поверхнею покриття, розтріскуванню і відшаруванню.



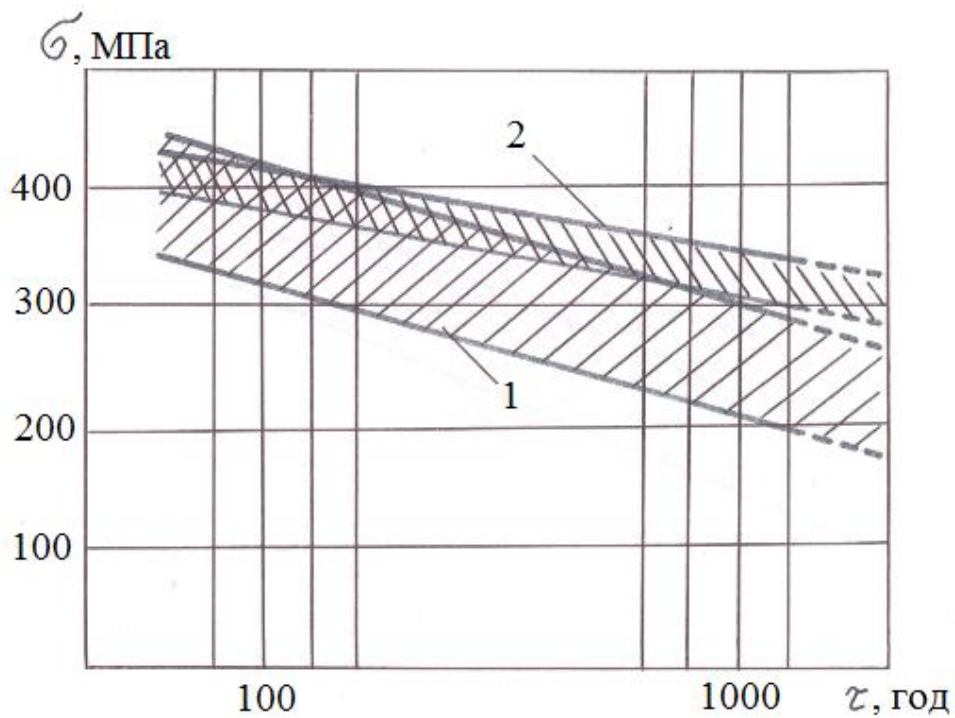
1 – сплав без покриття;

2 – сплав з Пк по комплексній технології.

Рисунок 3.4 – Тривала міцність сплаву ЗМІ-3 при 800 °С

Збіднення зовнішньої зони покриття алюмінієм в процесі випробувань приводить до зміни структури захисних окисло і прискоренню процесів окислення.

Зміни структури при випробуваннях на термічну стійкість досліджуваних складів захисних покриттів приведені на рис.3.6 – 3.9.



1 – сплав без покриття;

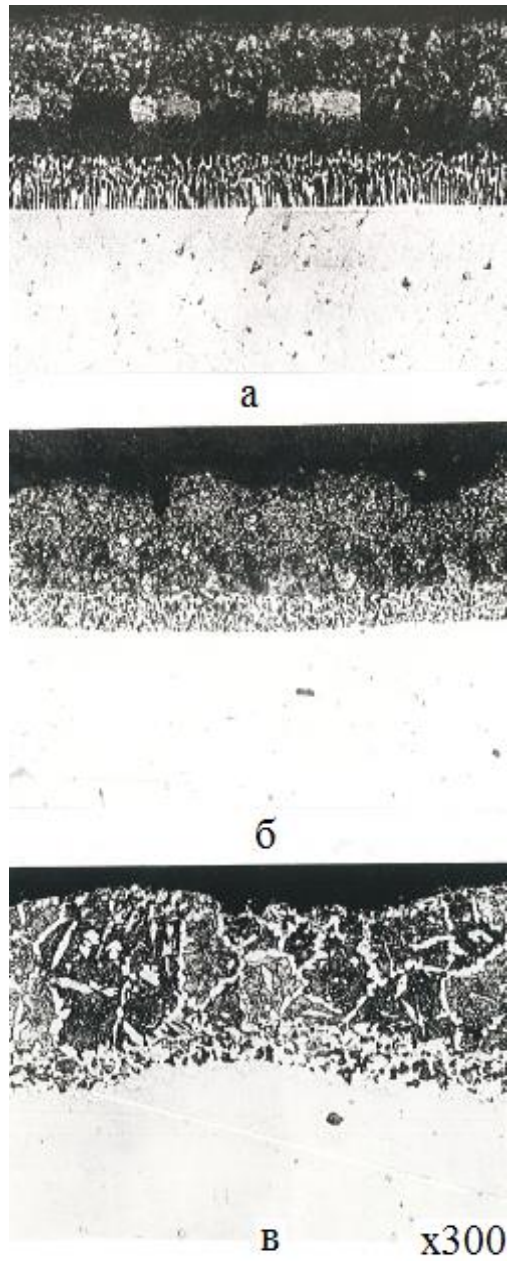
2 – сплав з Пк по комплексній технології.

Рисунок 3.5 – Тривала міцність сплаву ЗМІ-3 при 850 °С

Як видно з рисунків, із збільшенням часу випробувань відбувається перерозподіл фазових складових покриття, а також дифузія елементів покриття в підкладку і навпаки, з підкладки в покриття. Після випробувань при 860 °С протягом 600 годин (рис. 3.7) структура покриттів практично не змінюється.

Як видно з рисунків, із збільшенням часу випробувань відбувається перерозподіл фазових складових покриття, а також дифузія елементів покриття в підкладку і навпаки, з підкладки в покриття.

Після випробувань при 860 °С протягом 600 годин (рис. 3.7) структура покриттів практично не змінюється, Зовнішні зони суспензійного Пк Cr – Al – Si – Ti складається із з'єднань β – NiAl, у середині зерен якої залишаються виділення силіцидів Me_xSi_y и γ' - Ni₃Al.

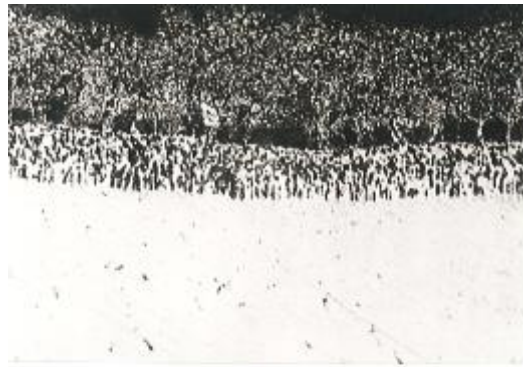


а - Cr – Al – Si – Ti;

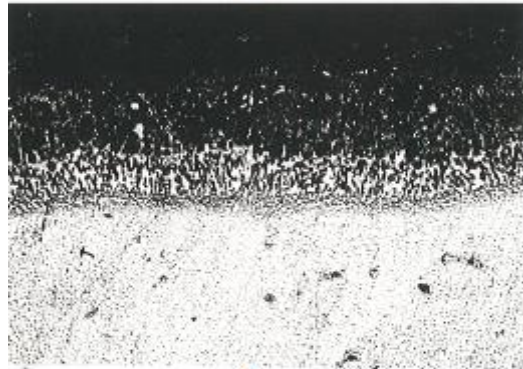
б - Cr – Al – Si;

в - Cr – Fe.

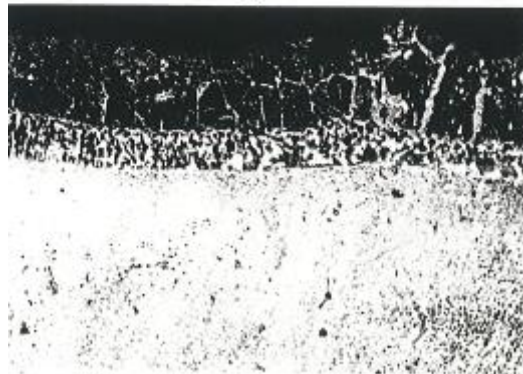
Рисунок 3.6 – Структура покриттів у вихідному стані



а



б

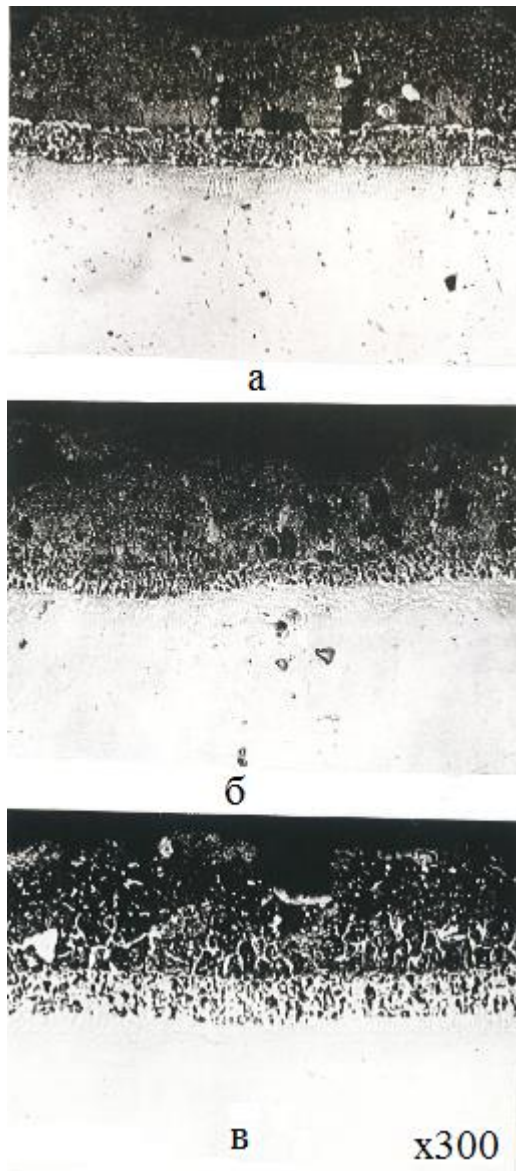


в

x300

а - Cr – Al – Si – Ti; б - Cr – Al – Si; в - Cr – Fe.

Рисунок 3.7 – Структура покриттів після випробування при 850 °С 600 г



а - Cr – Al – Si – Ti;

б - Cr – Al – Si;

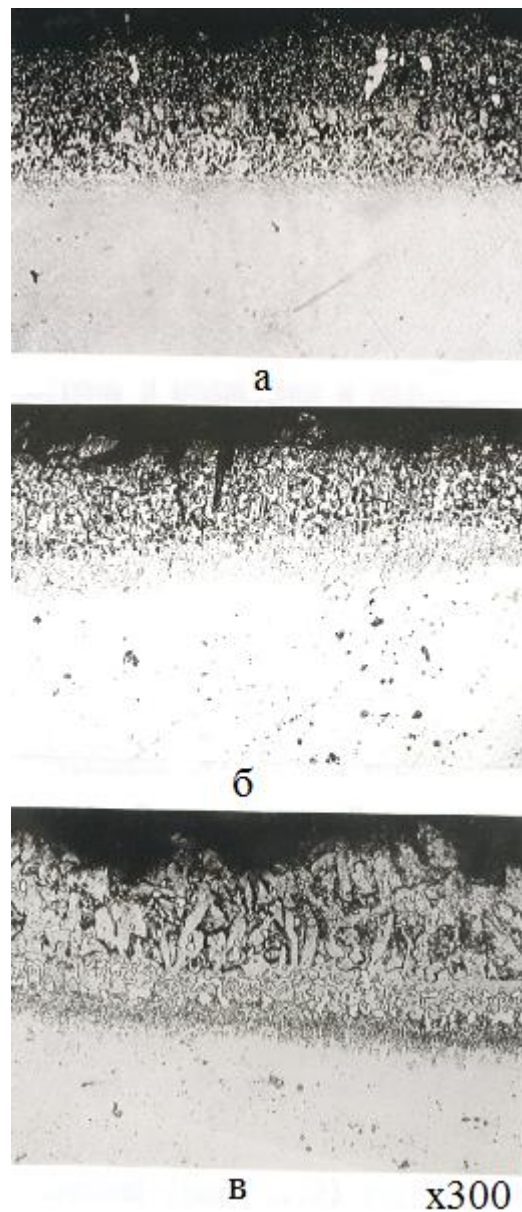
в - Cr – Fe.

Рисунок 3.8 – Структура покриттів після випробування при 850 °С 1500 г

Сумарний вміст молібдену і вольфраму зменшується до 1 %, за рахунок виділення дисперсної фази на основі цих елементів, В покритті Cr – Al – Si збільшується внутрішня зона, що полягає переважно з ОЦК – тв. р-рів на основі вольфраму і молібдену і карбідної фази.

У покритті Cr – Fe дифундують елементи підкладки і проміжна зона Пк – основа збільшується. Через 1500 годин випробувань (рис. 3.8) в зовнішній

зоні суспензійного Пк Cr – Al – Si – Ti переважає β – фаза (NiAl), збагачена хромом і титаном, карбіди типу $Me_{23}C_6$ і силіциди. У покритті Cr – Al – Si



а - Cr – Al – Si – Ti;

б - Cr – Al – Si;

в - Cr – Fe.

Рисунок 3.9 – Структура покриттів після випробування при 850 °С 5000 г

внутрішня зона «розчиняється» в зовнішній. В окремих місцях спостерігається γ' - фаза з концентрацією алюмінію до 10 мас.%. Покриття Cr – Fe продовжує дифундувати в підкладку з утворенням тієї, що окрихчує б –

фази $[(Cr, Mo)_x(Ni, Co)_y]$. Через 5000 годин випробувань (рис. 4.12) структура суспензійного Пк Cr – Al – Si – Ti можна розглядати, як що складається з двох структурних зон. Зовнішня зона складається з β – і γ' - фаз, внутрішня – з «острівців» β – фази, μ – фази на основі молібдену, карбідної фази, переважно, $Cr_{21}(MoW)_2C_6$, силіцидів, а також первинною ($\beta + \gamma'$) – фази.

Характер змін, що відбуваються в структурі Пк Cr – Al – Si аналогічний змінам в Пк Cr – Al – Si – Ti. Проте, внутрішній шар повністю «розкладається», а зовнішній – схильний до руйнування. Пк Cr – Fe полягає, в основному, з карбідів $Me_{23}C_6$, збільшених розмірів з великою кількістю δ – фази.

Таким чином, поки в зовнішній зоні покриттів зберігаються алюмініди, у тому числі і Ni_3Al , що утворюються на поверхні оксиди є жаростійкими і захищають покриття і сплав від інтенсивного окислення.

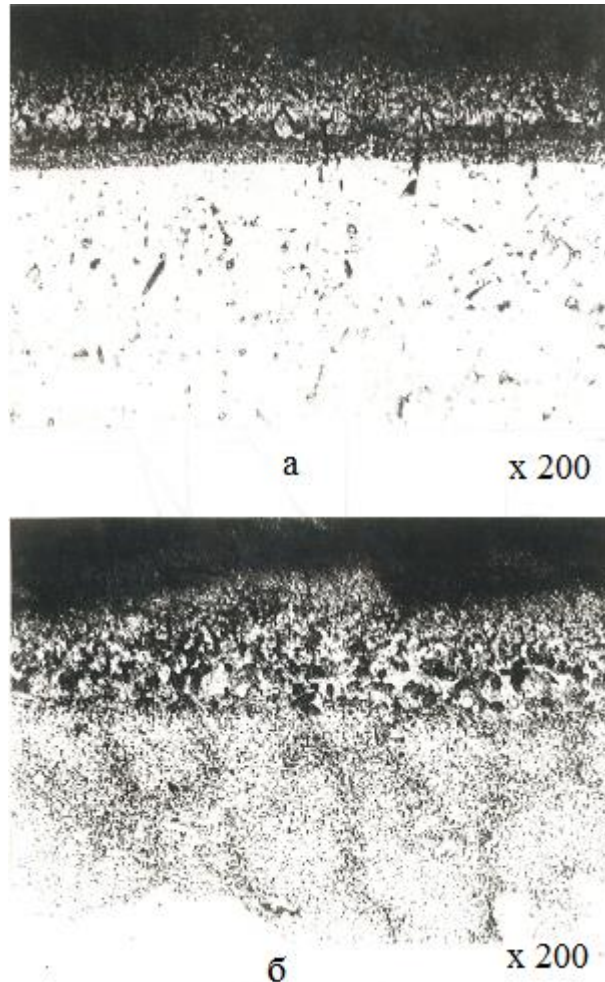
3.4 Корозійна стійкість в продуктах згоряння палива

На газодинамічному стенді сплави ЧС-70 і ЗМІ-3 показали найбільш високу корозійну стійкість. Порівняльні випробування сплавів із захисними покриттями при 800. 900 °С віддають перевагу ЕП-Пк Со - Cr - Al – Y. За ними йдуть суспензійні Cr – Al – Si – Ti з гетерогенною структурою, потім дифузійне Пк Cr – Fe, що наносяться дифузійною вакуумною металізацією.

Структура суспензійних захисних покриттів Cr – Al – Si – Ti після випробування на газодинамічному стенді циліндрових порожнистих зразків показана на рис. 3.10. Вона ідентична структурі покриттів, нанесених на робочі лопатки ТВТ ГТК-10І відпрацьованих в реальних умовах 9,5 тис.г.

Кінетика корозії зразків із сплаву ЗМІ-3 з різними захисними покриттями представлена на рис. 3.11. Результати випробувань визначили наступний ряд стійкості: суцільні зразки з ЕП- Пк Со - Cr - Al – Y, порожнисті – з

двостороннім захистом, нанесені по поєднаному режиму, суцільні із з дифузійним Пк Cr – Fe, порожнисті – із зовнішнім Пк Co - Cr - Al – Y (без внутрішнього) і зразки без покриття.



а – зовнішня поверхня:

б – внутрішня поверхня.

Рисунок 3.10 – Структура покриття системи Cr – Al – Si – Ti

На рис. 3.12 приведені залежності зміни товщини стінки порожнистих зразків залежно від часу випробувань на газодинамічному стенді з одночасним термоцикуванням. Характер зміни товщини стінки зразків без захисних покриттів істотно відмінний від аналогічних із ЗПк. У першому випадку за 200 г випробувань стінка стоншується на 0,780...0,850 мм, в

другому – на 122,5...135 мкм (практично, на товщину захисного покриття) в поперечному перетині.

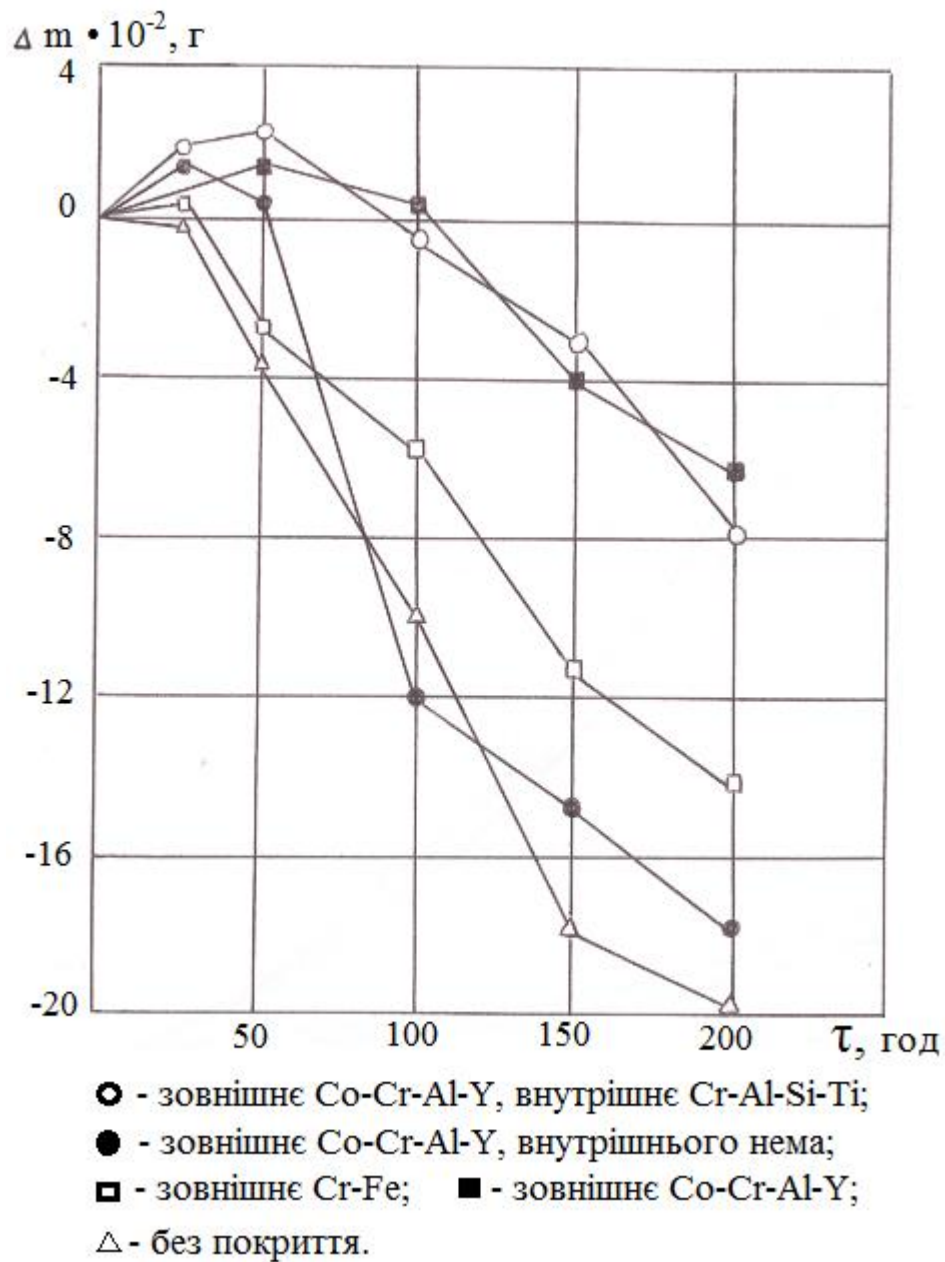


Рисунок 3.11 – Кінетика корозії зразків сплаву ЗМІ-3У

3.5 Прогнозування довговічності деталей ГТУ

Проведені дослідження дозволяють зробити висновок, що випробування порожнистих зразків тривалістю 50, 100, 150 і 200 годин

відповідають реальній експлуатації робочих лопаток в газовій турбіні 5000, 10000, 15000 і 20000 годин відповідно за параметрами, якими:

- стан зовнішньої поверхні;
- глибина корозійного проникнення;
- структура;

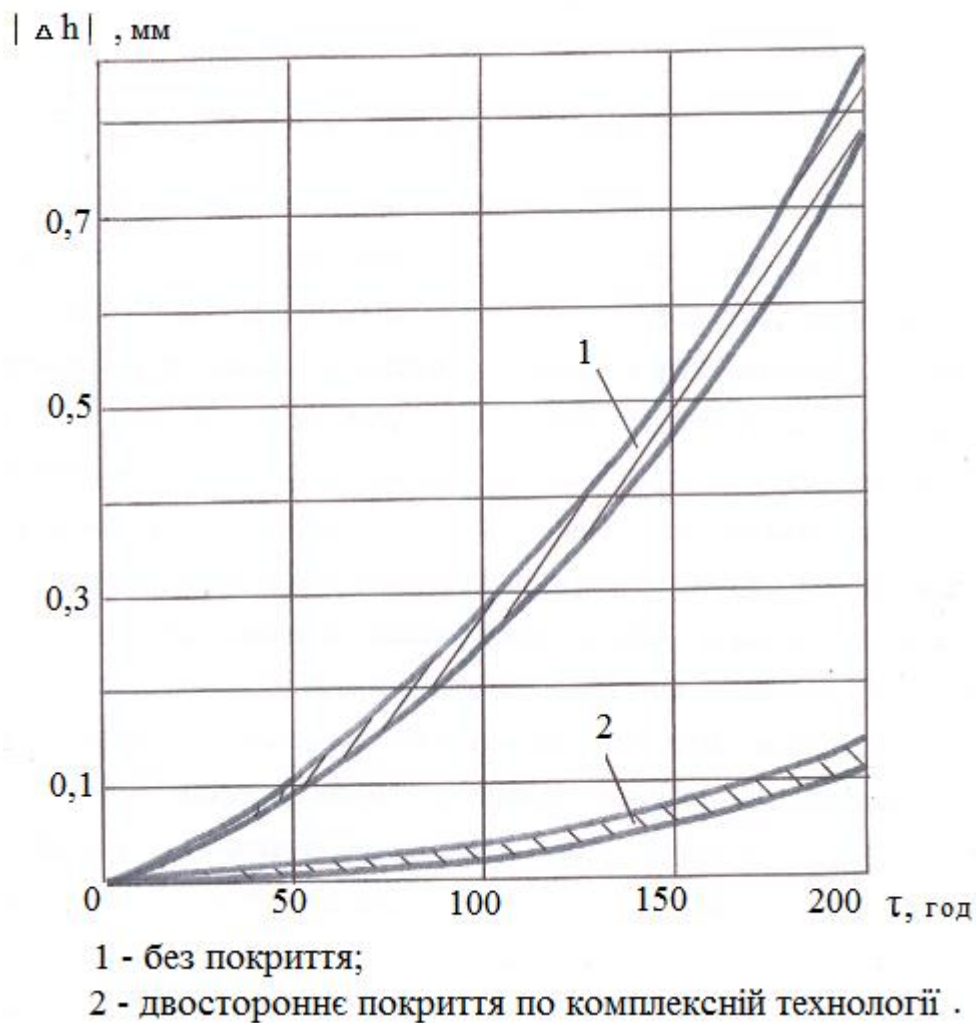
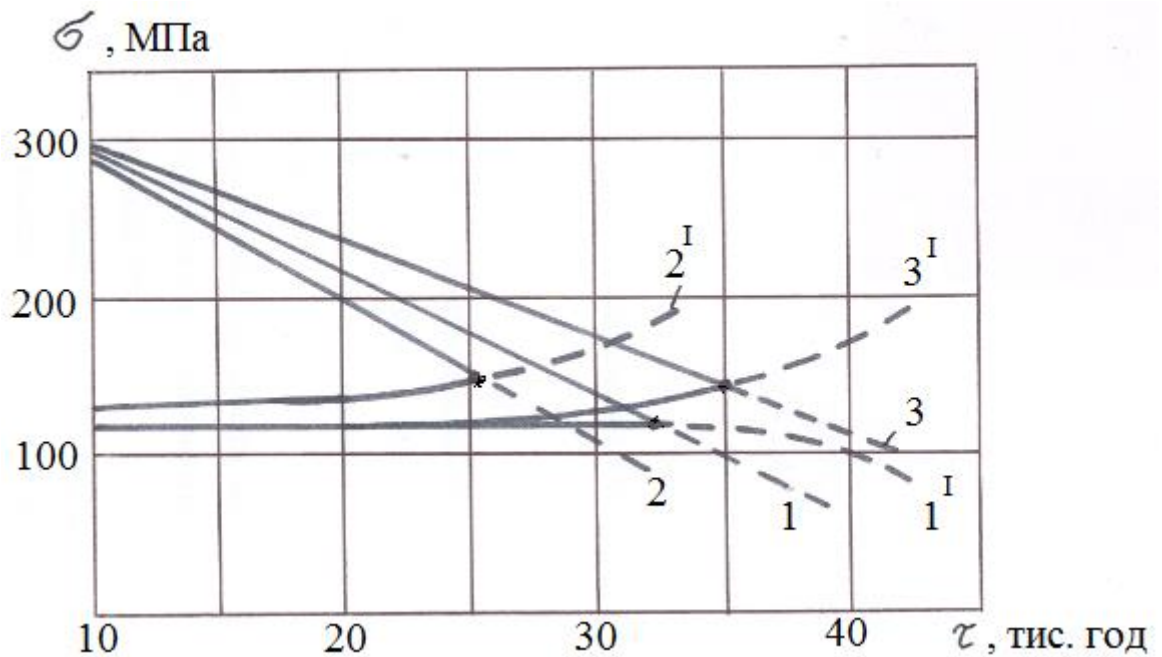


Рисунок 3.12 – Зміна товщини стінки порожнистих зразків

- динаміка корозійної поразки, включаючи геометрію зразків до і після випробування;
- тривала міцність.

Усі ці параметри і результати досліджень дозволяють прогнозувати довговічність деталей ГТУ як без захисних покриттів, так і з двостороннім захистом [48]. Так, без урахування корозійної дії при номінальній напрузі в

середньому перерізі 120 МПа, термін служби робочих лопаток визначається в 32 тис.г (рис. 3.13), а з урахуванням корозійної дії і зміни товщини стінки (за результатами випробувань - зменшення за кожні 5 тис. год на 5-7 %) - 25 тис. год. При використанні двостороннього захисту за комплексною технологією термін служби лопаток повинен складати 35 тис. год.



- 1 (1^I) – лопатки без Пк (без врахування оксисульфідної корозії);
- 2 (2^I) - лопатки без Пк (з урахуванням оксисульфідної корозії);
- 3 (3^I) – лопатки захищені по комплексній технології (з урахуванням оксисульфідної корозії).

Рисунок 3.13 – Довговічність робочих лопаток ГТК010І

ВИСНОВКИ

1. Показано, що формування термодинамічно стабільних покриттів в складній багатокомпонентній системі ЖС - Пк (Cr - Al - Si - Ti) найефективніше здійснюється при температурі рівної або більшої температури перитектичної реакції (≈ 1130 °C).

2. Показано, що при відносно нижчих температурах формування покриття (1080 °C, 4 годин), структура шликерного покриття значно відрізняється від аналогічних з гетерогенною структурою і повністю відповідає класичній типу RT-22A.

3. Встановлено, що міцнісні характеристики жароміцних сплавів при використанні комплексної технології захисту при температурах 800 і 850 °C не знижуються.

4. Підвищення жаростійкості обумовлене сприятливим поєднанням компонентів і досконалою структурою покриття.

5. Шликерні покриття Cr - Al - Si - Ti з гетерогенною структурою шару ("високотемпературні") мають більш високу стійкість, ніж "низькотемпературні".

6. Прогнозований термін служби робочих лопаток збільшується на 10 тис. годин при використанні двостороннього їх захисту за комплексною технологією.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Оскільки тема магістерської роботи – дослідження довговічності робочих порожнистих лопаток ГТК-10І після їх захисту по комплексній технології, тому нижче розглянемо заходи по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці і пожежної безпеки для приміщення обладнаного дослідною технікою та дисплейними терміналами, у відповідності з методичними вказівками.

На основі аналізу роботи існуючого обладнання і технологічних процесів у приміщенні обладнаному ПК з ВДТ, згідно ГОСТ 12.0.003-74 (1999) «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация», виявлені наступні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, здатні привести до травм або ушкодження здоров'я працівників:

- ураження електричним струмом, у наслідок несправності електроболаднання, невиконання правил техніки безпеки при користуванні електричним обладнанням, що може призвести до електротравм або летального наслідку;

- механічне травмування в наслідок нераціонального розташування меблів та обладнання;

- погіршення обміну речовин працюючих в умовах недостатньої фізичної активності сприяє передчасному розвитку серцево-судинних захворювань;

- недостатній рівень освітлення виробничих приміщень і робочих місць, у зв'язку з виходом з ладу освітлювальних приладів може стати причиною травмування персоналу;

- постійне напруження зору при нераціональному режимі праці може стати причиною виникнення болю, відчуття піску в очах, засміченості і свербіння;

- незручна поза при неправильній організації робочого місця може викликати біль в хребті, закам'янілість та оніміння шиї та плечового поясу;

- механічні пошкодження в електричній мережі призводять до

коротких замикань, що в свою чергу може привести до пошкодження електричного обладнання, травмування персоналу та навіть до виникнення та розповсюдження пожежі;

- помилкові дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій може призвести до травмування та загибелі людей.

4.1 Заходи з охорони праці

У приміщенні лабораторії застосовується широке різноманіття електроприладів: персональні комп'ютери, принтери, ксерокси, факси, освітлювальні прилади, кондиціонери, побутові електроприлади тощо. Відповідно до Державного нормативного акта про охорону праці ДНАОП 0.00-1.31-99 правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин ЕОМ поширюються на всі підприємства, установи, організації, юридичні особи незалежно від форми власності, відомчої належності, видів діяльності, які здійснюють розробку, виробництво і застосування ЕОМ і ПК у тому числі, які мають робочі місця обладнані ЕОМ або виконують ремонт обслуговування та налагодження ЕОМ.

Небезпека ураження електричним струмом при використанні цих приладів з'являється при недотриманні заходів обережності, а також при відмові або несправності цього обладнання. Наслідки ураження електричним струмом залежать від багатьох факторів: опору організму, величини, тривалості дії, роду і частоти струму, шляхів його проходження через життєво важливі органи, умов зовнішнього середовища.

Приміщення оснащене відеодисплейними терміналами відповідає вимогам ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення». Згідно ПУЕ («Правила устрою електроустановок») приміщення за безпекою електротравм має категорію - «без підвищеної небезпеки» (відсутній струмопровідний пил, струмопровідні поверхні, не струмопровідні поли, температура не більше 25⁰С, вологість не більше 60%).

Для запобігання ураження електричним струмом встановлено електроустаткування, яке відповідає вимогам: ПУЕ («Правила устрою електроустановок») і ГОСТ 12.1.030-81 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление», основним технічним заходом по забезпеченню електробезпеки проектом передбачено захисне заземлення, опір якого не більше 4 Ом; НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок», приміщення, в якому розташовуються електрообчислювальні матеріали, різноманітне устаткування, відноситься до класу пожежонебезпечної зони П-Па, тому передбачений мінімальний ступінь захисту ізоляції обладнання IP44; ГОСТ 12.1.009-76 (1999) «ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения» обладнання офісу має подвійну ізоляцію, яка складається з робочої та додаткової ізоляції; ГОСТ 12.2.007.0-75* (2001) «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» ЕОМ, периферійні пристрої ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ по способу захисту людини від ураження електричним струмом, належать до I класу, оскільки мають подвійну ізоляцію, елемент для заземлення та провід для приєднання до джерела живлення, що має заземлюючу жилу і вилку з заземлюючим контактом. Експлуатація електроустановок і електроустаткування проводиться відповідно до НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безопасной эксплуатации электроустановок» та НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безопасной эксплуатации электроустановок потребителей»

Ймовірність механічного травмування може виникнути внаслідок нерационального розташування робочих місць, захаращення робочих місць або у зв'язку з недбалістю та неуважністю обслуговуючого персоналу. Для виключення травматизму відстань між робочими столами становить не менше 2 метрів, а відстань між боковими поверхнями моніторів - не менше 1,2 метра. Для забезпечення комфортних та безпечних умов праці, згідно ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення» площа на одне робоче місце не менше 6м, а об'єм – не менше

20м³. Зроблено більш зручне та раціональне розташування робочих місць, таким чином збільшена відстань між ними. Не дозволяється розміщувати кабінети обчислювальної техніки у підвальних та цокольних поверхах. Покриття підлоги матове з коефіцієнтом відбиття 0,3-0,5. Поверхня підлоги рівна, неслизька з антистатичними властивостями. Для внутрішнього оздоблення приміщень з ПК передбачено використовувати дифузно-відбивні матеріали з коефіцієнтами відбиття для стелі 0,7-0,8; для стін 0,5-0,6.

Враховуючи, що стресові ситуації та нервово-емоційними навантаження у працівників можуть викликати захворювання загально-невротичного характеру і у відповідності ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», з метою зниження негативного впливу на зір, покращення кровообігу, запобігання втоми передбачені перерви у роботі – 15 хвилин кожні дві години, а також спеціально обладнане приміщення – кімната відпочинку.

Застосування меблів та організація робочого місця згідно рекомендацій ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования», ДСТУ ISO 9241-5-2004 «Ергономічні вимоги до роботи з вщотерміналами в офісі. Частина 5. Вимоги до компонування робочого місця та до робочої пози» дає можливість не тільки уникнути прояву захворювань але і забезпечує гарний настрій та високий рівень працездатності.

Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії і гігієни праці **для** приміщення обладнаного ПК з ВДТ розроблені відповідно до вимог ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» і НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин».

Метеорологічні умови в приміщенні – температура повітря, відносна вологість повітря й швидкість його переміщення відповідають встановленим санітарно-гігієнічним вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» і ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ.

Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». Роботи в приміщенні, належать до категорії Іб - легка робота, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

- у холодний період року: температура 21-23°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с;

- у теплий період року: температура 22-24°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

Для забезпечення постійних параметрів мікроклімату (температури, вологості, швидкості руху і чистоти повітря) та трьохкратного повітрообміну у приміщеннях передбачено встановлення побутових кондиціонерів типу БК-1500, БК-2000, БК-2500 та ін.

Рівні позитивних і негативних іонів у повітрі приміщень з ПК мають відповідати санітарно-гігієнічним нормам ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень», та наведені в табл. 4.2.

Таблица 4.1 Рівні іонізації повітря приміщень з ПК

Рівні іонізації повітря	Кількість іонів в 1 см ³ повітря	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально допустимі	50000	50000

Підтримувати оптимальний рівень легких позитивних і негативних аероіонів у повітрі на робочих місцях рекомендується за допомогою біполярних коронних аероіонізаторів.

Враховуючи, що при незадовільному освітленні знижується продуктивність праці користувачів ПК, можлива поява короткозорості, швидка стомлюваність у приміщенні, згідно ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення» передбачено природне та

штучне освітлення. Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, передбачено сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлені жалюзі або штори. Штучне освітлення в приміщенні, здійснено системою загального рівномірного освітлення. Як джерела штучного освітлення в приміщенні застосовані люмінесцентні лампи типу ЛБ. При застосуванні яких дотримались наступних умов:

- температура навколишнього повітря не повинна бути нижче, ніж 5°C;
- напруга на освітлювальних приладах повинна бути не менше, ніж 90% номінальної.

Коефіцієнт запасу (K_3) для освітлювальних установок загального освітлення приймається рівним 1,4.

Величина коефіцієнта пульсації освітленості не перевищує 5%, що забезпечується застосуванням у світильниках загального та місцевого освітлення ламп типу ЛБ.

Для загального освітлення рекомендовано застосовувати світильники серії ЛПО 36 із дзеркальними ґратами, укомплектовані високочастотними пускорегулювальними апаратами (ВЧ ПРА) тільки в модифікації «Кососвітло». Застосовувати світильники без розсіювачів та екрануючих ґратів забороняється.

Яскравість світильників загального освітлення в зоні кутів випромінювання від 50° до 90° з вертикаллю в поздовжній та поперечній площинах становить не більше ніж 200 $кд/м^2$, захисний кут світильників - не менше ніж 40°. Показник осліпленості для джерел загального штучного освітлення у кабінетах з ПК не більше 20, а показник дискомфорту - не більше 40.

Джерелами шуму при роботі з ПК є: жорсткий диск; вентилятор блока живлення мережі; вентилятор, розташований на процесорі; швидкісні CD-ROM; механічні сканери; пересувні механічні частини принтера. Шум, що створюється працюючими ПК, є широкосмужним, постійним з аперіодичним посиленням при роботі принтерів. Тому шум оцінюється загальним рівнем звукового тиску по частотному коригуванню «А» та вимірюватися в дБА. Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні

звуку на робочих місцях приміщення відповідають вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» та ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» (табл.7.1).

Таблиця 4.2 Допустимі та еквівалентні рівні звуку, рівні звукового тиску в октавних смугах частот

Вид трудової діяльності, робочі місця	Рівні звукового тиску, дБ									
	в октавних смугах із середньо геометричними частотами, Гц									
	31,5	63	123	250	500	1000	2000	4000	8000	Рівні звуку, еквівалентні рівні звуку, дБА/дБАекв
Програмісти	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
Оператори комп'ютерного набору	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

Зниження рівня шуму в приміщенні здійснено за допомогою: використання більш сучасного обладнання; розташування принтерів та різноманітного устаткування колективного користування на значній відстані від більшості робочих місць працівників; переведення жорсткого диска в режим сну (Standby), якщо комп'ютер не працює протягом визначеного часу; використання блоків живлення ПК з вентиляторами на гумових підвісках.

При обладнанні та організації робочих місць користувачів ПК враховано, що обладнання та організація робочих місць користувачів ПК забезпечують відповідність конструкцій всіх елементів робочого місця та їх взаємного розташування ергономічним вимогам з урахуванням характеру і особливостей трудової діяльності і відповідають ДСанПіН 3.3.2.007-98. При розташуванні елементів робочого місця користувача ПК враховувано: робочу позу користувача; простір для розміщення користувача; можливість огляду

елементів робочого місця; можливість ведення записів, розміщення документації і матеріалів, які використовуються користувачем.

Конструкція робочого місця користувача ПК має забезпечити підтримання оптимальної робочої пози. Робочі місця з ПК розташовуються відносно вікон, так щоб природне світло падало збоку переважно зліва.

Робочі місця з ПК розташовані від стіни з вікнами на відстані не менш ніж 1 м, від інших стін - на відстані не менше ніж 1 м. При розміщенні робочого місця поряд з вікном кут між екраном монітора і площиною вікна складає не менше 90° (для виключення відблисків), частину вікна, що прилягає, бажано зашторити. Недопустиме розташування ПК, при якому працюючий повернений обличчям або спиною до вікон кімнати або до задньої частини ПК, в як монтуються вентилятори.

Монітор повинен бути встановлений таким чином, щоб верхній край екрана знаходився на рівні очей. Екран монітора ПК має розташовуватися на оптимальній відстані від очей користувача, що становить 600-700 мм, але не ближче ніж 600 мм з урахуванням розміру літерно-цифрових знаків і символів. Для забезпечення точного та швидкого зчитування інформації в зоні найкращого бачення площина екрана монітора перпендикулярна нормальній лінії зору.

Висота робочої поверхні столу з ПК регулюється в межах 680-800 мм, а ширина і глибина - забезпечує можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля (рекомендовані розміри: ширина - 600-1400 мм, глибина - 800-1000 мм). Робочий стіл має простір для ніг висотою не менше ніж 600 мм, шириною - не менше ніж 500 мм, глибиною (на рівні колін) - не менше ніж 450 мм, на рівні простягнутої ноги - не менше ніж 650 мм.

У відповідності ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», з метою зниження нервово-емоційного напруження, запобігання втоми та забезпечення нормованого режиму праці та відпочинку передбачені перерви у роботі – 15 хвилин кожні дві години та виконання

фізичних вправ 2-3 рази протягом робочого часу.

Розрахунок приміщення (лабораторії) оснащеного відеодисплейними терміналами

1. Приміщення, що обладнане ПК з ВДТ і розміщені робочі місця з ПК, спроектовано і організовано згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

2. Приміщення категорій А і Б (НАПБ Б.03.002-2007 «Нормы определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной безопасности», а також виробництва з мокрими технологічними процесами поряд з приміщенням, де розташовуються ЕОМ, виконується їх обслуговування, налагодження і ремонт не передбачається.

3. Виробничі приміщення, в яких розташовані ЕОМ, не межують з приміщеннями, де рівні шуму та вібрації перевищують норму (механічні цехи, майстерні тощо).

4. Робоча кімната, де розташовані комп'ютери знаходиться на другому поверсі, т.б. відповідно до НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин» враховано, що неприпустимим є розташування приміщень, призначених для роботи з ВДТ у підвалах та цокольних поверхах.

Площу приміщення, в якому розташовують відеотермінали, визначено згідно з чинними нормативними документами з розрахунку, що для забезпечення виробничого процесу необхідним є застосування 10 комп'ютерів.

Планування розміщення комп'ютеризованих робочих місць у приміщенні проводимо із врахуванням наступних вимог:

- робочі місця з ВДТ розміщуються на відстані не менше 1 м від стіни зі світловими прорізами;
- відстань між бічними поверхнями ВДТ має бути не менше за 1,2 м;
- відстань між тильною поверхнею одного ВДТ та екраном іншого не повинна бути меншою за 2,5 м;

- прохід між рядами робочих місць має бути не меншим 1 м.
- площа на одне робоче місце, обладнане відеотерміналом - не менше 6,0 м².
- об'єм - не менше 20,0 м³, з урахуванням максимальної кількості осіб, які одночасно працюють у зміні.

Врахуємо також розміри меблів на комп'ютеризованих робочих місцях, зокрема робочого столу. Відповідно до НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин» рекомендовані розміри столу для робочого місця з ВДТ становлять: висота – 725 мм, ширина – 600-1400 мм, глибина – 800-1000 мм.

Приймаємо, що робочий стіл має такі розміри: ширина – 1200 мм, глибина – 800 мм.

Найкращим є розмістити комп'ютеризовані робочі місця рядами вздовж стіни з вікнами. Це дасть змогу унеможливити дзеркальне відбиття на екрані ВДТ джерел природного світла (вікон) та потрапляння останніх у поле зору операторів, що погіршує умови їх зорової роботи. Враховуючи, що в приміщенні 10 комп'ютерів (рис.7.1), то найкраще комп'ютеризовані робочі місця розмістити в три ряди, відстань між робочими місцями становить 2.2 метри, що більше ніж відстань зазначена нормативом.

Оскільки площа, на якій розташовується одне робоче місце з ВДТ, згідно з ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» повинна становити не менше 6,0 м², а десять ПК повинні займати площу 60 м² для безпечної та комфортної роботи приймаємо, що площа робочого приміщення складає 70 м² (рис.7.1). Відповідає данне приміщення і вимогам по об'єму.

Комплекс протипожежних заходів для приміщення обладнаного ПК з ВДТ розроблений відповідно до вимог НАПБ А.01.001-14 «Правила пожежної безпеки в Україні».

У приміщенні обладнаному ПК з ВДТ можливі пожежі класу «А» – пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких

супроводжується тлінням (деревина, текстиль, папір), та класу «Е» (додатковий клас) – пожежі, пов'язані з горінням електроустановок.

Згідно із методикою визначення категорій приміщень та будівель за вибухопожежною та пожежною небезпекою, який регламентується НАПББ.03.002-2007 "Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» приміщення відповідає категорії «Д» з пожежної небезпеки – незаймисті речовини і матеріали в холодному стані.

Відповідно до вимог ДБН В.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва», будівлі і ті їх частини, в яких розташовуються ЕОМ, мають II ступінь вогнестійкості.

Згідно ДБН В.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва», на випадок пожежі передбачені два шляхи евакуації працівників із робочого приміщення та два евакуаційних виходи. Максимальне видалення від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу, згідно СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания» становить не більше 70м;

Обладнання, силові та освітленні мережі відповідають вимогам пожежної безпеки, оскільки виконані відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок», та мають ступінь захисту оболонок (ізоляції), відповідно до пожежанебезпечної зони П-Па, - IP44.

Згідно вимог НАПБ А.01.003-2009 «Правила улаштування та експлуатації систем оповіщення про пожежу та управління евакуацією людей в будинках та спорудах» і ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту» приміщення з ЕОМ, оснащені системою автоматичної пожежної сигналізації з димовими пожежними сповіщувачами. В інших приміщеннях встановлені теплові пожежні сповіщувачі.

Згідно НАПБ Б.03.001-2004 «Типові норми належності вогнегасників»

приміщення оснащене переносними вуглекислотними вогнегасниками ВВ-5 з розрахунку 2 шт. на кожні 20 м² площі приміщення з урахуванням гранично допустимих концентрацій вогнегасної рідини. Підходи до засобів пожежогасіння вільні.

4.3 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

Порядок планування, організації, проведення і забезпечення евакуації робітників, службовців промислового об'єкта та населення.

Евакуація — це організований вивіз або вивід з міст і інших населених пунктів та розміщення у заміській зоні решти населення, а також вивіз населення із зон можливого затоплення, радіоактивного зараження і інших випадках. Евакуйовані постійно проживають у заміській зоні до особливого розпорядження. Евакуація передбачає вивід і вивіз населення із міст у безпечні райони в усіх напрямках від міста.

Робітників і службовців підприємства, яке переносить свою виробничу діяльність у заміську зону, розташовують поблизу виробничих баз за районами розміщення робітників і службовців підприємств, які продовжують працювати в місті. Евакуйоване населення, не зв'язане з виробництвом і яке не є членами сімей розосереджених робітників та службовців, розміщують у більш віддалені райони заміської зони, а населення, евакуйоване із зон можливого затоплення, — в населених пунктах, які знаходяться поблизу цих зон.

Безпосередньо організацією і проведенням евакуаційних заходів займаються начальники і штаби цивільного захисту містах, районах. Розосередження і евакуацію організовують та проводять після отримання розпорядження про їх проведення.

Для проведення розосередження і евакуації використовуються всі види громадського транспорту (залізничний, автомобільний, водний), не зайнятого воєнними і невідкладними виробничими і господарськими перевезеннями, а також транспорт індивідуального користування. Для вивозу населення

залізничним і водним транспортом використовують пасажирські поїзди, теплоходи, а при їх нестачі — і товарні вагони, вантажні судна та баржі. Передбачається збільшення довжини поїздів. Вивіз розосередженого і евакуйованого населення автотранспортом планується на невеликі відстані. Для цього використовуються автобуси і вантажні автомобілі. Частина населення, яка підлягає евакуації, може виводитись пішим порядком. Вивід населення пішим порядком організовується колонами по дорогах, не зайнятих іншими перевезеннями або по визначених маршрутах і колонних шляхах. Для організованого руху піших колон розробляють схему їх маршруту, на якій вказують склад колони, маршрут руху, вихідний пункт, пункти регулювання руху і час їх проходження; райони і тривалість привалів; медичні пункти і пункти обігріву; проміжний пункт евакуації, порядок і термін виводу колони з цього пункту в район постійного розміщення, сигнали управління. При загрозі надзвичайної ситуації в мирний час, а також загрозі нападу противника і нестачі транспортних засобів важливе значення мають строки евакуації населення за межі зон можливих зруйнувань. В цих випадках використовують комбінований захід, який дозволяє провести евакуацію в короткі строки. Суть комбінованого заходу евакуації полягає в тому, що масовий вивід населення з міст пішим порядком співпадає з вивозом всіма видами транспорту. Цей захід є основним.

Всі роботи по проведенню і організації розосередження та евакуації здійснюються у відповідності з планом і вказівками начальника ЦЗ об'єкту. Для керівництва розосередженням і евакуацією населення на об'єкті створюється евакуаційна комісія, а на великих об'єктах, крім цього можуть створюватися збірні евакуаційні пункти (ЗЕП). Наказом начальника ЦЗ підприємства створюється адміністрація ЗЕП. Головою евакуаційної комісії призначається один із заступників начальника ЦЗ. Розосередження і евакуація населення проводиться через збірні евакуаційні пункти. Для них відводяться школи, клуби і інші приміщення. Призначаються ЗЕПІ для збору, реєстрації і відправки населення, евакуйованого транспортом, на станції, пристані і інші пункти

зону у встановлений час. Вивід населення об'єкту пішим порядком здійснюється за попередньо встановленими маршрутами, їх розраховують на один добовий перехід, який здійснюється за 10-12 год. руху. У піших колонах може бути від 500 до 1000 людей. Для зручності управління колони слід розбити на групи по 50-100 людей, а на чолі груп призначити старших. Старші груп зобов'язані перевіряти чисельність складу, не допускати в групи сторонніх осіб і слідкувати, щоб не було відстаючих. Швидкість руху колон слід витримувати в межах 4-5 км/год, а дистанції між колонами до 500 м. При здійсненні маршу через кожні 1-1,5 год руху роблять малі привали, які продовжуються 10-15 хв, а на початок другої половини добового переходу роблять великий привал на 1-2 год, як правило, за межею зони можливих зруйнувань. На малих привалах людям надається необхідна медична допомога, перевіряється склад колон, надається допомога відстаючим, дається людям короточасний відпочинок. За час привалу колони, які розтягнулися, підтягуються. На великому привалі організують прийом гарячої їжі. При проведенні розосередження і евакуації організують медичне обслуговування. З цією метою на ЗЕП, станціях посадки розгортають медичні пункти. На кожний поїзд призначають 1-2 працівників з медичною освітою, а в склад пішої колони включають 1-2 сандружинниці. Люди, які рухаються в піших колонах, по сигналу "Повітряна тривога" укриваються в складках місцевості або в найближчій захисній споруді. При вимушеній зупинці ешелону, викликаній застосуванням противником зброї масового ураження, слід швидко висадити людей із вагону і вжити необхідні заходи по захисту їх в складках місцевості або в найближчих захисних спорудах. Якщо при русі в замиську зону — на маршруті руху будуть ділянки радіоактивного, хімічного або біологічного зараження, то їх по можливості обходять з навітряної сторони. У випадку, коли обходу нема, ці райони проходять на підвищеній швидкості в засобах індивідуального захисту. Для організації прийому і розміщення розосереджуваного і евакуйованого міського населення, а також забезпечення його всім необхідним, створюються приймальні евакуаційні комісії і прийомні

евакуаційні пункти сільських районів. Прийомні евакуаційні комісії району, села створюються. рішенням голови державної виконавчої влади — начальником ЦЗ району, села. Вони проводять свою роботу в взаємодії зі штабом і службами ЦЗ.

В склад приймальної комісії села включаються відповідальні працівники державної виконавчої влади, керівники підприємств торгівлі, громадського харчування, медичних, побутових і інших підприємств, яких залучають до забезпечення розосередженого і евакуйованого населення. Головою приймальної евакуаційної комісії села призначається відповідальний працівник місцевої виконавчої влади. На прийомні евакуаційні комісії сільської місцевості покладається розробка і своєчасне коригування розділу плану ЦЗ по прийомі і розміщенні розосереджуваного і евакуйованого населення: зустріч, прийом, облік і розселення прибулого населення, а також забезпечення його всім необхідним; складається донесення вищестоячим прийомним евакуаційним органам про хід прийому, розміщення і забезпечення прибулого міського населення, забезпечення відправлення населення в кінцеві пункти його розміщення. При передбаченні надзвичайної ситуації проводять заходи по приведенню станцій, пунктів висадки, прийомних евакуаційних пунктів в готовність до прийому населення. Прийомна евакуаційна комісія району встановлює зв'язки з евакуаційною комісією міського району і уточнює питання прийому і розміщення населення, графіки руху ешелонів, автомобільних і піших колон, кількість населення, відправленого кожним ешелоном, автоколоною, пішою колоною, місце пункту евакуації піших колон, вид і кількість транспорту для перевезення населення з проміжних пунктів евакуації (ППЕ) до районів розташування, а також забезпечення і обслуговування населення.

За вказівкою прийомної евакуаційної комісії району для прийому населення, яке прибуло з міста, розгортають прийомні евакуаційні пункти (ПЕП). Вони розташовуються в школах, дитячих садках, клубах і ІНШИХ громадських приміщеннях недалеко від станції висадки людей. На ПЕП покладаються такі

завдання: зустріч прибулого населення, розподілення його по населених пунктах, надання першої медичної допомоги, організоване відправлення людей до місць розквартирування. В місцях розселення звільняють приміщення, які призначені для розміщення розосереджуваного і евакуйованого населення, уточнюють всі питання розміщення людей по будинках місцевих жителів, в пансіонатах, туристичних таборах, підсобних господарствах і інших громадських приміщеннях. Завчасно підготовляють колективні засоби захисту. Якщо сховищ до часу прибуття населення буде недостатньо, то організують додаткове їх будівництво. Для виконання цих робіт залучають все працездатне населення, в тому числі і населення, яке прибуло з міста. Виключно велике значення має забезпечення в заміській зоні розосереджених робітників, службовців та членів їх сімей, а також евакуйованого населення продуктами харчування, надання їм побутових послуг і медичного обслуговування. Забезпечення населення продуктами харчування і предметами першої необхідності покладається на службу торгівлі і харчування сільського району. Перші дві доби люди повинні харчуватися запасами продуктів, привезених з собою. Комунально-побутове обслуговування в районах розміщення покладають на місцеві комунально-побутові служби. Кількість їх при необхідності може бути збільшена за рахунок розгортання у заміській зоні комунально-побутових служб евакуйованим населенням. Медичне обслуговування населення покладають на існуючу мережу лікувальних закладів: лікарні, поліклініки, сільські медичні пункти і аптеки. Робота їх у надзвичайних умовах мирного і воєнного часу різко ускладнюється, тому що крім загальних хворих можуть поступити люди, уражені радіоактивними, хімічними речовинами і біологічними засобами. Значно зростає роль надання медичної допомоги вдома. Тому вживають заходи до розширення мережі швидкої медичної допомоги, поліклінік, лікарень і медичних пунктів, а також по збільшенні чисельності медичних кадрів, залучають до роботи лікарів, медичних сестер, фельдшерів із евакуйованого населення і осіб, які мають медичну підготовку. Евакуйоване населення залучається до роботи на

підприємствах, вивезених з міста, що продовжують роботу в заміській зоні, у фермерських, колективних і інших господарствах.

Таким чином, передбачений для приміщення, що обладнано персональними комп'ютерами з візуальними дисплейними терміналами комплекс заходів по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці і пожежної безпеки забезпечує безпечні та комфортні умови праці персоналу.

Передбачені заходи з цивільного захисту, які забезпечують основні норми і порядок проведення, забезпечення евакуації робітників, службовців промислового об'єкта та населення.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На підставі виконаної роботи можна зробити наступні висновки.

Для захисту зовнішньої поверхні робочих лопаток ГТУ найбільш ефективно використовуються електронно-променеві покриття типу Co - Cr - Al - Y.

Для захисту внутрішніх поверхонь вибрані шликерні (суспензійні) покриття тому що технологія їх нанесення має переваги перед іншими способами.

Для металографічних досліджень використовуються сучасні: мікроскопом "Неофот-2", мікроскопом-аналізатор "Стереоскан". Мікротвердість вимірювали приладом ПМТ- 5. Фазовий склад і періоди грат основних складових - на дифрактометре ДРОН- 1 в мідному К α - випромінюванні. Зміст хімічних елементів - на рентгеноспектральному мікроаналізаторі Cameca MS - 46.

Випробування на короткочасну міцність (ГОСТ 1497-61, ГОСТ 9651-61, ГОСТ 1497-84) проводили на стандартних циліндричних зразках при температурах 200, 800, 900 і 1000 $^{\circ}$ C на розривній машині марки УМЭ-10ТМ.

Для ідентифікації фаз в сплавах використовувався метод локального мікрозондського аналізу на приставці МРСА до растрового електронного мікроскопа JEOL JSM - 63601a с системою енергодисперсійного рентгеноспектрального мікроаналізу JED - 2300.

Порівняльні експериментальні дослідження ВТК - стійкості зразків сплавів проводилися в синтетичній золі за методикою, розробленою Нікітіним В.І. (ЦКТИ ім. І. І. Ползунова).

Показано, що формування термодинамічно стабільних покриттів в складній багатокомпонентній системі ЖС - Пк (Cr - Al - Si - Ti) найефективніше здійснюється при температурі рівної або більшої температури перитектичної реакції (≈ 1130 $^{\circ}$ C).

Показано, що при відносно нижчих температурах формування покриття (1080 $^{\circ}$ C, 4 годин), структура шликерного покриття значно відрізняється від аналогічних з гетерогенною структурою і повністю відповідає класичній

типу RT-22A.

Встановлено, що міцнісні характеристики жароміцних сплавів при використанні комплексної технології захисту при температурах 800 і 850 °С не знижуються.

Підвищення жаростійкості обумовлене сприятливим поєднанням компонентів і досконалою структурою покриття.

Шликерні покриття Cr - Al - Si - Ti з гетерогенною структурою шару ("високотемпературні") мають більш високу стійкість, ніж "низькотемпературні".

Прогнозований термін служби робочих лопаток збільшується на 10 тис. годин при використанні двостороннього їх захисту за комплексною технологією.

Розглянуті питання охорони праці, санітарної гігієни, пожежної безпеки при проведенні дослідних робіт. Наведені рішення по безпеці в надзвичайних ситуаціях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Никитин В.И. Коррозия и защита лопаток газовых турбин / Никитин В.И. – Л.: Машиностроение, 1987. - 272 с.
2. Лозицкий Л.П. К вопросу о расчете долговечности рабочих лопаток турбин ГТД при программном действии комплексных нагрузок / Л.П. Лозицкий, Н.И. Конончук, В.Я. Шипиль // Надежность и долговечность авиационных газотурбинных двигателей. – 1972. - № 3. – С. 9-17.
3. Тамарин Ю.А. Жаростойкие диффузионные покрытия лопаток газотурбинных двигателей / Ю.А. Тамарин // - М.: Машиностроение, 1978. - 136 с.
4. Химушин Ф.Ф. Жаропрочные стали и сплавы / Ф.Ф. Химушин // - М.: Металлургия, 1969. - 752 с.
5. Коломыцев П.Т. Жаростойкие диффузионные покрытия / П.Т. Коломыцев - М. Металлургия, 1979. – 272 с.
6. Bartocci R.C. Behaviour of high-temperature coatings for gas turbine engines / R.C. Bartocci // ASTM STR. - 1967. - № 421. - P. 169-187.
7. Onisawa K. Hot corrosion behaviour of intermetallic compounds of Ni - Al system in 75% Na₂SO₄ - 25% NaCl salt / K. Onisawa, M. Chigasaki, K. Soeno // J. Iron and Steel Inst. Jap. - 1982. - № 1. P. 130-139.
8. Wing R.S. A platinum aluminide diffusion coating / R.S.Wing, J.R. Mc Cill // Platinum Metals Rev. - 1981. - № 3. - P. 94-105.
9. Daimer J. Silicon in layers on high-temperature alloys for protection against oxidation and hot corrosion at temperature near 1000 °C / J. Daimer, E. Fitrer // High temperature. - High pressures. - 1982. - № 5. - P. 549-558.
10. Grunling H.W. Coatings in industrial gas turbines: experience and future requirements / H.W. Grunkig, K. Schneider // Thin Solid Films. - 1981. - №1. P. 1-15.
11. Мовчан Б.А. Жаростойкие покрытия, осаждаемые в вакууме / Б.А. Мовчан, И.С. Малащенко // - Киев: Наук. думка. - 1983. - 232 с.
12. Paton В.Е. Production of protective coating by electron beam evaporation / В.Е. Paton, В.А. Movchan // Thin Solid Films. - 1978. - № 1. - P. 1-8.

13. Boone D.H. Overlaj coatings for improved oxidation/corrosion protection and ductility for high temp. Applications / D.H. Boone // «Airco Temescal», Maj. - 1977. - 12 p.

14. Пат. 3542530, США, МКИЗ 623С 13/00. Nickel or cobalt base with a coating containing Fe, Cr, Al / F.P. Talboom, J. Grafwallner. - Опубл. 24.11.70.

14. Пат. 3676085, США, МКИЗ С22С 9/00, В32В 15/00. Cobalt base coating for the Superalloys / D.I. Evans, R.C. Elam. - Опубл. 11.07.72.

16. Пат. 4144380, США, МКИЗ В32В 15/18. Cladding of high-temperature austenitic alloys / A.M. Beltran, W.F. Schilling. - Опубл. 13.03.79.

17. Nicoll A.R. The effect additions on MCrAlY systems / A.R. Nicoll, G. Wahl // Thin Solid Films. - 1982. - № 3. - P. 21-34.

18. Grisik J.J. Performance of second-generation airfoil coatings in marine service / J.J. Grisik, R.G. Miner, D.J. Wortman // Thin Solid Films. - 1980. - № 2. - P. 397-406.

19. Пат. 3574650, США, МКИЗ С23С 13/02. Vacuum vapor deposition with control of elevation of metal melt / R.D. House. - Опубл. 13.04.71.

20. Duret C. Recent approaches to development of corrosion resistant coatings / C. Duret // High Temper. Alloys gas Turbines. Liege. - 1982. - P. 53-86.

21. Пат.4101714, США, МКИЗ В32В 15/00. High-temperature oxidation resistant dispersion strengthened nickel-chromium/alloys / J.R. Rairden. Опубл. 18.07.78.

22. Никитин В.И. Высокотемпературная коррозия и применение покрытий для защиты лопаточного аппарата ГТУ / В.И. Никитин, И.П. Коммиссарова, Б.А. Мовчан [и др.] // Энергомашиностроение. - 1981. - № 9. - С. 21-26.

23. Stevens R. Zirconia: second phase particle transformation toughening of ceramics / R. Stevens // Trans. and J. Brit. Ceram. Soc. - 1981. - 1981.- №3.- P. 81-85.

24. Hartropp S.J. The contribution of thermal barrier coatings to improvements in the life and performance of gas turbine components / S.J. Hartropp, D.A. Marsh, C.W. Meetham // Trans. Inst. Metal Finish. - 1982. - № 3. - P. 89-91.

25. Bratton R.J. Evaluation of present-day thermal barrier coatings for industrial/utility applications / R.J. Bratton, S.K. Lau, S.G. Kee // Thin Solid Films. - 1980. - № 2. - P. 429-437.

26. Коломыцев П.Т. Газовая коррозия и прочность никелевых сплавов / П.Т. Коломыцев. – М.: Металлургия, 1984. – 216 с.

27. Заявка 1558973, Великобритания, МКИЗ OGP 5/00. Printed Carpets and Method for Producing Them / Armstrong Cork Company. - Оpubл. 09.01.80.

28. Пат. 4132816, США, МКИ2 C23C 11/00. Gas Phase Deposition of Aluminum Using a Complex Aluminum Halide of an Alkali Metal or an Alkaline Earth Metal as an Activator / S. Robert, S. Richard. - Оpubл. 02.01.79.

29. Заявка 2805370, ФРГ, МКИ2 C23C 11/02. Alitirschrift fur Innenborungen in Turbinenschaufeln / E. Fitser, D. Kthr, K. Chemiker und an. - Оpubл. 23.08.79.

30. Заявка 1586502, Великобритания, МКИЗ C23C 9/00. Metal Coating / Alloys Surfactants Company. - Оpubл. 18.03.81.

31. Пат. 4332843, США, МКИЗ C23C 13/02. Metallic Internal coating Method / L. Pritan. - Оpubл. 01.06.82.

32. Пономаренко Е.П. Защита деталей газовых турбин от высокотемпературной газовой коррозии / Е.П. Пономаренко, И.С. Малашенко, А.А. Рабинович [и др.] // Защита металлов от коррозии. - Киев, 1991. - № 25. С. 93-97.

33. Кононов В.В. Исследование формирования коррозионностойких покрытий на деталях ГТУ и разработка комплексной технологии их защиты / В.В. Кононов // Новые конструкционные материалы, эффективные методы их получения и обработки, повышения надежности и долговечности машин и конструкций. - К.: УМК ВО, 1991. - С. 20-22.

34. Симс Ч. Жаропрочные сплавы / Ч. Симс, В. Хагель // - М.: Металлургия, 1976. - 568 с.

35. Мовчан Б.А. Электроннолучевая плавка и испарение в современной металлургии и машиностроении / Б.А. Мовчан // Сварка и специальная металлургия. - Киев: Наук. думка, 1984. - С. 259-264.

36. Felix P.C. Evaluation of Gas Turbine Materials by Corrosion Rig Tests / P.C. Felix // Deposition and Corrosion in Gas Turbines. - London. - 1973. - P. 331-349.

37. Lewis H. Corrosion of High-temperature Nickel-base Alloys by Sulphate-chloride Mixtures / H. Lewis, R.A. Smith // First International Congress on Metallic Corrosion. - London, 1962. - P. 202-214.

38. Ducati U. High Temperature Corrosion of Ni - Base Turbine Blades Alloys in Sulphate-Chloride Containing Environment / U. Ducati, G. Legis Cocca, P. Cenallotti // High Temperature Problems in Gas Turbine Engines AGARD conference Proceedings, № 229. - 1978. - P. 21.1-21.12.

39. Никитин В.И. Влияние золовых отложений на длительную прочность материала рабочих лопаток газовых турбин / В.И. Никитин, Т.Н. Григорьева // Физико-химическая механика материалов. - 1972. - № 5. - С. 19-26.

40. Crahman L.D. Hot Corrosion Behavior of Coated and Uncoated Superalloys / L.D. Crahman, J.D. Codd, R.I. Quigg // Hot Corrosion Problems Associated with Gas Turbines. - 1967. № 421. - P. 105-122.

41. Stringer J. High Temperature Corrosion and Coating of Superalloys / J. Stringer, D.P. Whittle // High Temperature Materials for Gas Turbines. - 1974. - P. 283-312.

42. А.с. 1588103, СССР, МКИ⁵ С01С 3/18. Образец для испытания материала лопатки газотурбинного двигателя на термоусталость / А.Г. Андриенко, В.В. Крипак, Н.Г. Решетило [и др.]. Заявл. 16.05.88. - Не публ.

43. Малащенко И.С. Исследование состояния защитных покрытий на лопатках турбин газоперекачивающих агрегатов после промышленной эксплуатации / И.С. Малащенко // Автоматическая сварка. - 1985. - № 7. - С. 41-45.

44. Jackson M.R. Protective coatings for superalloys and the use phase Diagrams / M.R. Jackson, J.R. Rairden // Application of phase diagrams in metallurgy and ceramics. - 1978. Vol. 1. - P. 423-439.

45. Пономаренко Е.П. Формирование покрытий с гетерогенной структурой на никелевых сплавах / Е.П. Пономаренко // Известия АН СССР. Металлы. - 1990. № 2. - С. 96-103.

46. Пономаренко Е.П. Повышение коррозионной стойкости деталей газотурбинных установок / Е.П. Пономаренко, В.Н. Трусов, А.А. Рабинович, В.В. Кононов // Известия вузов. ЧМ. – 1990. № 7. – С. 86-88.

47. Кононов В.В. Особенности формирования многокомпонентных диффузионных покрытий (из суспензии) на никелевых сплавах / В.В. Кононов, В.П. Келлер, А.П. Хвалин // Нанесение, упрочнение и свойства защитных покрытий на металлах. – Ивано-Франковск, 1990. – С. 125.

48. Анненков Р.В. Надійність експлуатації робочих лопаток газотурбінних установок / Р.В. Анненков, Т.О. Козіна, О.А.Матлакова, В.В. Кононов // Тези доповідей науково-практичної конференції, Запоріжжя, 16-20 квітня 2018 р. / Редкол.: В.В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. Дані. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. – Назва з тит. екрана.

49. Юдин Е.Я. Охрана труда в машиностроении / Е.Я. Юдин, С.В. Белова – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983.- 432 с.

50. Люманов Е.М. Безпека технологічних процесів та обладнання на машинобудівних підприємствах / Е.М. Люманов // – Сімферополь: ВАТ «Сімферопольська міська друкарня» (СГТ), 2008. – 128 с.

51. Піскун І.П. Охорона праці в галузі машинобудування / Р.Є. Стець, І.О. Трунова. // – Суми: Університетська книга, 2011. - 557с.

52. Кодекс цивільного захисту України станом на 06 грудня 2012 року: – К.: Алерта, 2012. – 120 с.