

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет
(повне найменування інституту, факультету)
кафедра фізичного матеріалознавства
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Аналіз причин руйнування
циліндричного кільця компресора
рвмцна ТВЗ-114.

Виконав: студент(ка) VI курсу, групи ІФФ-218.1

Спеціальності 132-Матеріалознавство
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
прикладне матеріалознавство
Гіль Н.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник Глотка О.А.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Сотніков Є.Г.
(прізвище та ініціали)

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

Інститут, факультет інженерно-фізичний факультет
 Кафедра фізичного матеріалознавства
 Ступінь вищої освіти магістр
 Спеціальність 132 матеріалознавство
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) прикладне матеріалознавство
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Григор'єв О.В.
 « _____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Гісь Катерина Валеріївна
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Аналіз причин руйнування ущільнювачного кільця компресора двигуна ТВЗ-117.

керівник проекту (роботи) Петка Віктор Андрійович к.т.н. доцент
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 14 » 11 20 19 року № 388

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 17.12.2019г.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) зразки зі сталі 21-96111, мікроструктура

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналітичний огляд; 2. Матеріали та методика досліджень; 3. Експериментальна частина; 4. Експериментальна частина; 5. Оцінка праці та безпека у наведених ситуаціях; 6. Висновки та перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1. Хімічний склад сталі та механічні властивості;
2. Залежність гравітної міцності та ударної в'язкості від температури відривання;
3. Метастабільна діаграма сталі Fe-N;
4. Мікроструктура азотованої сталі;
5. М-фа азот. сталі типу Т.В.; 6. Порівняння хімічного складу сталі

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
I.	Глотка О.А. к.т.н. доцент		
II	Глотка О.А. к.т.н. доцент		
III	Глотка О.А. к.т.н. доцент		
IV	Скочко О.Г. Кресікове В.В., доцент, к.т.н.		
Охороона ар Н.К.	Нестерів О.В. доц. ктн		
	Ткач О.В.		

7. Дата видачі завдання « 10 » 09 2019 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.1.	Аналітичний огляд	11.09.2019	
1.2.	Змови експерименту деталей ГТД, устрія та характеристика компресорів	25.09.2019	
1.3.	Спосіб поверхневого покриття матеріалу	02.10.2019	
1.4.	Характеристика процесу одержування	03.10.2019	
2.1.	Хімічний склад та механічні властивості сталі	09.10.2019	
2.2.	Дослідження мікроструктури та хімічного складу	16.10.2019	
2.3.	Тримодування зразків для випробувань	06.11.2019	
3.	Експериментальна частина	04.12.2019	
4.	Експериментальна частина	08.12.2019	
5.	Охороона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	11.12.2019	

Студент(ка)

(підпис)

Гіль К.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Глотка О.А.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 66 стор.; 9 таблиць; 7 рис.; 61 джерел.

Об'єкт дослідження – ущільнювальне кільце компресора низького тиску ТВЗ-117.

Мета дипломної роботи – проаналізувати причини корозійного руйнування ущільнювального кільця компресора низького тиску ТВЗ-117.

Розглянуті мікроструктури після кожного етапу термічної обробки та виявляється присутність окислення. Наведені рекомендації щодо запобігання невинного дефекту. Розраховано економічну ефективність випробування та розглянуті питання з охорони праці.

КОМПРЕСОР НИЗЬКОГО ТИСКУ, УЩІЛЬНЮВАЛЬНЕ КІЛЬЦЕ,
УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ, ХІМІКО-ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, АЗОТУВАННЯ,
МІКРОСТРУКТУРА, ХІМІЧНИЙ СКЛАД, ТВЕРДІСТЬ, ГАРТУВАННЯ,
ВІДПУСКАННЯ, КОРОЗІЯ, ОКИСЛЕННЯ, ЕНЕРГОДИСПЕРСІЙНИЙ
АНАЛІЗ, ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ, ОХОРОНА ПРАЦІ

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Аналітичний огляд	6
1.1 Умови експлуатації деталей ГТД	6
1.2. Устрій та характеристика компресорів.....	7
1.3 Способи поверхневого захисту матеріалу	9
1.4 Характеристика процесу азотування.....	14
2 Матеріали та методика досліджень	19
2.1 Хімічний склад та механічні властивості сталі.....	19
2.2 Дослідження мікроструктури та хімічного складу.....	20
2.3 Приготування зразків для випробувань	23
3 Експериментальна частина	25
4 Економічна частина	34
4.1 Тенденції розвитку світового ринку технологій термообробки	34
4.2 Розрахунок кошторису витрат на проведення науково-дослідницької роботи	35
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	42
5.1 Аналіз потенційних небезпек	42
5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки	43
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	46
5.4 Заходи з пожежної безпеки.....	51
5.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях	53
Висновки	56
Перелік посилань.....	57
Додаток А.....	63

ВСТУП

Сучасні газотурбінні установки (ГТУ) відрізняються різноманітністю конструкцій та типів (закритого, відкритого циклів), робочого тіла (тих, що працюють за рахунок спалення палива або за рахунок зовнішнього джерела тепла, наприклад тепла газів, що отримані в виробничому процесі), призначення (стаціонарні, транспортні, авіаційні, судові). Серед стаціонарних слід згадати ГТУ, що призначені для перекачування газу в магістральних газопроводах та енергетичні, зокрема, призначені для покриття піків електричних напруг.

Для підвищення зносостійкості, контактної витривалості, корозійної стійкості, витривалості поверхні деталей ГТУ широко використовують азотування. Технологічні можливості процесу азотування дозволяють створювати на металах і сплавах поверхневі дифузійні шари, які в поєднанні з об'ємними властивостями матеріалу надають виробам комплекс механічних і фізико-хімічних властивостей, що визначають їх експлуатаційну надійність. Нітрідна (карбонітрідна) зона оптимального складу і будови поверхні виробів забезпечує високу корозійну стійкість та зносостійкість. Дифузійний шар з розвиненою зоною внутрішнього азотування сприяє підвищенню межі міцності та витривалості виробів. Оптимізацію структури, будови, щільності і розмірів нітрідної (карбонітрідної) зони і зони внутрішнього азотування для матеріалу здійснюють регулюванням активності насичуючого середовища із застосуванням оптимальних режимів хіміко-термічної обробки.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Умови експлуатації деталей ГТД

Сучасні ГТУ відрізняються різноманітністю конструкцій і типів (відкритого і закритого циклів), робочих тіл (що працюють за рахунок спалювання палива або за рахунок зовнішнього джерела теплоти, наприклад теплоти відхідних газів, одержуваних у виробничих процесах тощо) і призначень (стаціонарні, транспортні, авіаційні, суднові). Напруженість основних деталей ГТУ різного призначення визначається конструктивними їх відмінностями і специфікою умов експлуатації. Особливості конструкцій авіаційних і транспортних ГТД викликані високими вимогами як до їх маси та габаритів, так і їх економічності [1,2]. Для стаціонарних же турбін основною вимогою є економічність. Особливістю конструкцій стаціонарних ГТД з температурою газу вище 820°C є охолодження лопаточного апарату турбіни. Широке застосування отримали авіаційні двигуни промислових варіантів, конвертація яких дозволяє отримати ГТД з високою економічністю. При виготовленні судових газотурбогенераторів високої економічності намагаються без охолодження лопаточного апарату, що частково пов'язано з обмеженням ресурсу при номінальному навантаженні і перевищує це навантаження[1]. Деякі з них мають напрацювання, що досягли 40 тис. годин і більше. Більшість сучасних ГТД під час експлуатації зазнає велику кількість порівняно швидких пусків, працює на змінних режимах, що обумовлює спеціальні вимоги. До складу сучасного ГТД відкритого циклу можуть входити такі основні вузли: камери згоряння, компресори, турбіни, регенератор, різні статорні деталі, вузли управління і регулювання. Для деталей ГТД, що працюють при підвищених температурах застосовуються жароміцні сплави, при виборі яких необхідно враховувати специфіку їх напруженого стану та особливості експлуатації турбін різного призначення.

До числа пов'язаних з умовами експлуатації параметрів, що впливають на вибір матеріалу, слід віднести робочу температуру деталей, ступінь її нерівномірності, вид і склад палива, ступінь маневреності установки. Вибір температури газу визначається в значній мірі тим, чи використовується ГТД як базова, пікова або резервна. В якості палива стаціонарних ГТД застосовуються різні гази, що відрізняються змістом H_2S , CO_2 , H_2 , C_mH_n , C_3H_8 , C_2H_6 , CH_4 : природний різних родовищ, штучний (з антрациту, підземної газифікації, напівкоксований, доменний, коксовий очищений) і попутний, отриманий з різних родовищ нафти. Природний і попутний гази, як правило, містять лише сліди сірчистих сполук, штучний - від 0,2 до 58%. Для стаціонарних, суднових і транспортних ГТД застосовують різні палива, що відрізняються вмістом домішок, негативно впливають на опір матеріалів корозії [3].

1.2. Устрій та характеристика компресорів

Принцип дії роботи газотурбінного двигуна можна описати таким чином: компресор через вхідний патрубок всмоктує повітря і стискає його до певного тиску. Повітря з підвищеним тиском надходить в камеру згорання, куди через форсунку безперервно подається паливо. Паливо в камері згорання перемішується з повітрям і згорає при практично постійному тиску. При згорянні палива утворюються гарячі гази, які направляються в проточні частини газових турбін. В газових турбінах енергія продуктів згорання перетворюється в направляючих лопатках в кінетичну енергію потоку газу (газ розганяється до великих швидкостей), а потім кінетична енергія газу перетворюється в робочих лопатках в механічну енергію обертання ротора. Турбіна приводить в обертання компресор, який перебуває з нею на одному валу. Турбіна, передає потужність на рушій, може одночасно

використовуватися для приводу одного з компресорів, або встановлюватися окремо і не бути пов'язаною механічно з турбінами компресорів. Так як частоти обертання роторів газотурбінних двигунів досить великі і досягають від 5000 до 18000 обертів за хвилину, обов'язковим елементом є редуктор, що знижує частоту обертання валу двигуна до оптимальної частоти обертання гребного валу [3-6].

Відпрацьовані гази, віддавши частину своєї енергії в турбінах, направляються в газовихлопний пристрій, звідки можуть надходити: в регенератор, який здійснює попередній підігрів повітря перед подачею його в камери згоряння; в різні теплообмінні апарати (утилізаційні парові котли і тощо.); або відразу викидатися в атмосферу. Частина потужності, що виробляється газотурбінним двигуном, передається допоміжним механізмам газотурбінної установки (паливним, масляним насосів, насосів системи охолодження і тощо.). Привід допоміжних механізмів здійснюється, як правило, від ротора одного з компресорів через механічну передачу (коробку приводів) [7].

Компресором називається машина, призначена для перетворення механічної енергії двигуна в корисну потенційну і кінетичну енергію газу [8].

Аеродинамічний тракт компресора складається з вхідного пристрою, проточної частини і вихідного пристрою. Вхідний пристрій, що включає повітрозбірник, передній обтічник, силові стійки і вхідний направляючий апарат, призначений для формування потоку повітря з метою оптимального входу його на робочі лопатки першого ступеня. Вихідний пристрій, що включає спрямляючий апарат, силові стійки і вихідний кільцевої дифузор, забезпечує надання потоку повітря необхідного напрямку руху і підвищення тиску повітря за рахунок його гальмування. У проточної частини компресора відбувається робочий процес перетворення механічної енергії ротора в потенційну енергію стисненого повітря. Потік повітря вхідним напрямним апаратом направляється на перший ряд робочих лопаток. В процесі взаємодії обертючих робочих лопаток з потоком повітря частина механічної енергії

витрачається на підвищення тиску повітря, а частина - на збільшення його кінетичної енергії. У напрямному апараті відбувається подальше підвищення тиску повітря за рахунок гальмування потоку і напрямом його під оптимальним кутом на робочі лопатки наступному ступені [9,10].

Отже, в процесі експлуатації деталі компресора зазнають впливу високих температур та навантажень. Для підвищення зносостійкості, контактної витривалості, корозійної стійкості, витривалості поверхні деталей ГТД широко необхідне поверхнєве зміцнення деталей. Однією з таких деталей є ущільнююче кільце, яке повинно забезпечувати щільність з'єднання за рахунок контакту з корпусом компресора. Вихід з ладу деталі призведе до порушення герметичності, що знизить експлуатаційні показники компресору.

1.3 Способи поверхневого захисту матеріалу

Види поверхневого зміцнення матеріалу умовно можна розділити на два види за принципом взаємодії з поверхнею: а) зміна хімічного складу поверхні (хіміко-термічна обробка); б) нанесення нового матеріалу на поверхню (напилення, осадження, наплавлення, нанесення емалей і лакофарб). Якщо формування дифузійних покриттів при хіміко-термічній обробці підкоряється загальним уявленням про структурні і фазові перетворення в металах і сплавах, то багатофакторність процесів нанесення покриттів призводить до більш складної картини будови і властивостей поверхні.

За способом нанесення покриття можна розділяються на групи: дифузійні, термомеханічні, хімічні, наплавочні, газотермічні, гальванічні, контактні, емалеві, лакофарбові, комбіновані, вакуумно-плазмові [11-15].

Дифузійні покриття утворюються в результаті хіміко-термічної обробки металів і сплавів. Хіміко-термічна обробка (ХТО) поєднує термічний і хімічний вплив на матеріал з метою зміни хімічного складу, структури і властивостей поверхневих шарів. Дифузійні покриття на поверхні виробу можуть утворюватися в результаті насичення матеріалу різними елементами неметалами (C, N, B, Si, P), металами (Al, Cr, Zn, W та ін.), а також загальним насиченням (C і Cr, B і Al, C і N, Cr і Al, Al і Si тощо.). Вибір того чи іншого способу насичення здійснюється в відповідно до виду виробництва, габаритами виробу, необхідної товщини тощо. До основних технологічних методів отримання дифузійних покриттів відносяться:

- Насичення з порошкових сумішей (порошковий метод). Застосовується в дрібносерійному і серійному виробництві для цементації, алітування, хромування тощо. Відрізняється простотою технологічного процесу.

- Прямоточний і циркуляційний методи дифузійного насичення з газових середовищ. Прямоточний метод застосовується в крупносерійному і серійному виробництві для цементації, нітроцементації і азотування. Забезпечує високу якість дифузійного покриття. Циркуляційний метод знаходить все більше застосування при насиченні металами і кремнієм.

- Дифузійне насичення з розплавів металів або солей, містять дифундує елемент. Рідкий метод дозволяє скоротити тривалість технологічного процесу, однак не завжди забезпечує якість поверхні і стабільність товщини дифузійного шару. Застосовується в серійному виробництві.

- Насичення з паст і суспензій (шлікерний спосіб). Ці методи не знайшли широкого поширення, т. к. не завжди забезпечують отримання рівномірної товщини покриття і високої якості дифузійного шару. В основному вони використовуються для місцевого зміцнення поверхні і при обробці великогабаритних деталей .

- Дифузійне насичення з використанням вакууму є перспективним методом ХТО. Насичення здійснюється шляхом випаровування дифундуючого елемента при високих температурах з сублімованої фази. Оброблювані вироби знаходяться або в контакті з порошковою сумішшю, що містить дифундуючий елемент, або на відстані від неї [16-19].

Процес утворення дифузійного покриття включає чотири основні стадії.

- Реакції в середовищі насичення (утворення активних атомів в насичує середовищі і їх дифузія до поверхні оброблюваного металу).

- Транспортування активних атомів до насичується поверхні.

- Реакція взаємодії активних атомів з поверхнею, яка протікає в дві стадії: а) адсорбція і б) хемосорбція.

- Дифузія - переміщення адсорбованих атомів всередині металу. Процес можливий тільки при розчинності дифундуючого елемента в оброблюваному металі і досить високою температурою, що забезпечує необхідну енергію атомам. При цьому приплив активних атомів до поверхні насичення повинен перевищувати число атомів, що відводяться від поверхні в глиб в результаті дифузії [21].

Рушійною силою дифузійного процесу є перепад концентрацій або хімічних потенціалів в зростаючих фазах. У тих випадках, коли процес протікає багатостадійну, сумарна швидкість визначається найбільш повільної стадією (лімітованої). При ХТО в більшості випадків швидкість лімітується дифузією в матеріалі. Всі фактори, що прискорюють дифузію (температура, градієнт концентрацій, структурні дефекти і тощо), скорочують тривалість технологічного процесу. Розвиток процесу дифузії призводить до виникнення на поверхні дифузійної зони концентрація дифундуючого елемента зменшується від поверхні в глиб виробу до значень вихідного складу [22-25].

У процесі насичення виробів між атомами впроваджуваного елемента і атомами основного металу можливе утворення як різних твердих розчинів

(впровадження та заміщення) з кристалічними ґратками оброблюваного металу (прикордонні розчини), так і проміжних фаз і твердих розчинів на їх основі.

Розрізняють два види дифузії: атомну і реакційну. При атомній дифузії не відбувається утворення нових фаз в процесі самої дифузії. Переміщення атомів дифундуючого елемента в даному випадку відбувається в одній і тій же фазі, яка являє собою твердий розчин впроваджуваного елемента в ґратці металу-розчинника. Тому максимальна концентрація елемента, що впроваджується обмежена його граничною розчинністю в твердому розчині при температурі дифузії і плавно знижується в міру віддалення від поверхні в глиб деталей подібна дифузія характерна, наприклад, для цементації [27].

Однак дифузія елемента насичення можлива і до концентрації граничних твердих розчинів. У цьому випадку на поверхні виробів виникає одна або кілька нових фаз, відмінних за своєю кристалічною будовою від твердого розчину, утвореного на базі металу-розчинника. Дифузія розвивається всередині різних фаз і називається реакційною, прикладом реакційної дифузії є утворення γ - і ε -фаз при азотуванні заліза. Розподіл концентрації впроваджуваного елемента по перетину дифузійної зони при реакційної дифузії характеризується наявністю стрибків концентрацій, які спостерігаються в місцях переходу від однієї фази до іншої і відповідають кордонів двох фазної області цих фаз при даній температурі на діаграмі стану «метал - впроваджуваний елемент».

До теперішнього моменту існують дві гіпотези початку утворення покриттів при ХТО. Перша з них ґрунтується на припущенні про те, що спочатку відбувається накопичення дифундуючого елемента до межі розчинності його в твердому розчині, а потім утворюються з'єднання (фази), тобто процес утворення фаз відбувається послідовно, за деякий кінцевий час. Відповідно до іншої гіпотезою в початковий момент на поверхні розділу «насихуюча середа - матеріал» протікають хімічні реакції утворення сполук, тобто всі фази, що присутні в покритті, виникають в ньому практично

миттєво, але мають нескінченно малу («нульову») товщину [28-32]. Подальше формування дифузійних шарів по обох гіпотез визначається дифузійним масоперенесенням елементів. В даний час прийнято вважати експериментально встановленим, що в разі потрапляння в насичуюче середовище достатньої кількості дифундуючого елемента в активному стані на поверхню виробу, при досить тривалому насиченні, в дифузійній зоні утворюються однофазні шари, відповідні ізотермічного розрізу бінарної діаграми стану при температурі хіміко-термічної обробки причому послідовність утворення фаз при дифузійному зміні складу відповідає послідовності їх розташування на діаграмі стану. Відхилення від цієї закономірності вкрай рідкісні. Відсутність двофазних зон при дифузійному взаємодії в двухкомпонентній системі, незважаючи на те що на діаграмах стану є двофазні області, що уявляють собою суміші фаз граничних концентрацій, пояснюється тим, що рушійною силою дифузійних процесів є перепад концентрацій або хімічних потенціалів. Відсутність двофазних ділянок в дифузійній зоні можна пояснити також і за допомогою правила фаз. У двофазних областях бінарної системи число фаз $\Phi = 2$ і число компонентів $K = 2$. Підставляючи ці значення в рівняння правила фаз, отримаємо, що число ступенів свободи $C = K - \Phi + 2 = 2$. Це означає, що «вільними» є тільки температура і тиск і при фіксації останніх ніякої зміни складу бути не може, тобто дифузійний процес в двухкомпонентній системі з утворенням двофазної області неможливий [32-35].

Для ущільнюваного кільця компресора придатною хіміко-термічною обробкою є азотування. Вироби, які пройшли таку хіміко-термічну обробку, експлуатуються до температур близько 450°C довготривало зберігаючи властивості. Таким чином, навантажені деталі, за рахунок азотування, будуть теплостійкими та зносостійкими одночасно, що збільшує спектр їх використанню у газотурбобудуванні.

1.4 Характеристика процесу азотування

Азотуванню можна піддавати будь-які сталі перлітного, феритного і аустенітного класів, а також чавуни. Азотовані сталі мають високу поверхневу міцність, що не змінюється при нагріванні до 400 ... 450°C; високу зносостійкість і низьку схильність до задирам; високий опір кавітації і корозії в атмосфері, прісній воді і парі. Деформація виробів при азотуванні мінімальна, азотований шар добре шліфується і полірується. Розрізняють низькотемпературне і високотемпературне азотування, кордоном між якими є температура евтектоїдного перетворення $\gamma \leftrightarrow \alpha + \gamma'$ в системі «залізо - азот» (590°C). Сталі піддаються в основному низькотемпературному азотуванню при температурі 500 ... 540°C. Високотемпературне азотування вище 590°C використовують для підвищення корозійної стійкості сталей, а також для підвищення твердості поверхні і інших механічних характеристик високолегованих сталей і спеціальних сплавів. Процес низькотемпературного азотування проводиться в газових, рідких і порошкових середовищах. Для газового азотування використовуються атмосфери частково дисоційованого аміаку, аміаку і азоту, аміаку і газів, що вуглецевмістких газів (природного, ендогаз, екзогаз, пропан, продуктів піролізу рідких карбюризаторів: гасу, синтину, спирту тощо.). Для рідкого азотування застосовують розплави ціанід-ціанітних і ціанітних солей. При високотемпературному азотуванні процес проводиться в атмосферах аміаку або азоту, а також в розбавлених воднем або аргоном атмосферах на основі аміаку або азоту. При низькотемпературному азотуванні незалежно від того, в якому середовищі проводиться обробка, відбувається переважне насичення стали азотом. Вуглець (кисень) в основному бере участь тільки в формуванні поверхневої нітридної зони, яка в вуглецевмісних (киснемістких) атмосфера стає карбонітридним або оксікарбонітридним[35-38].

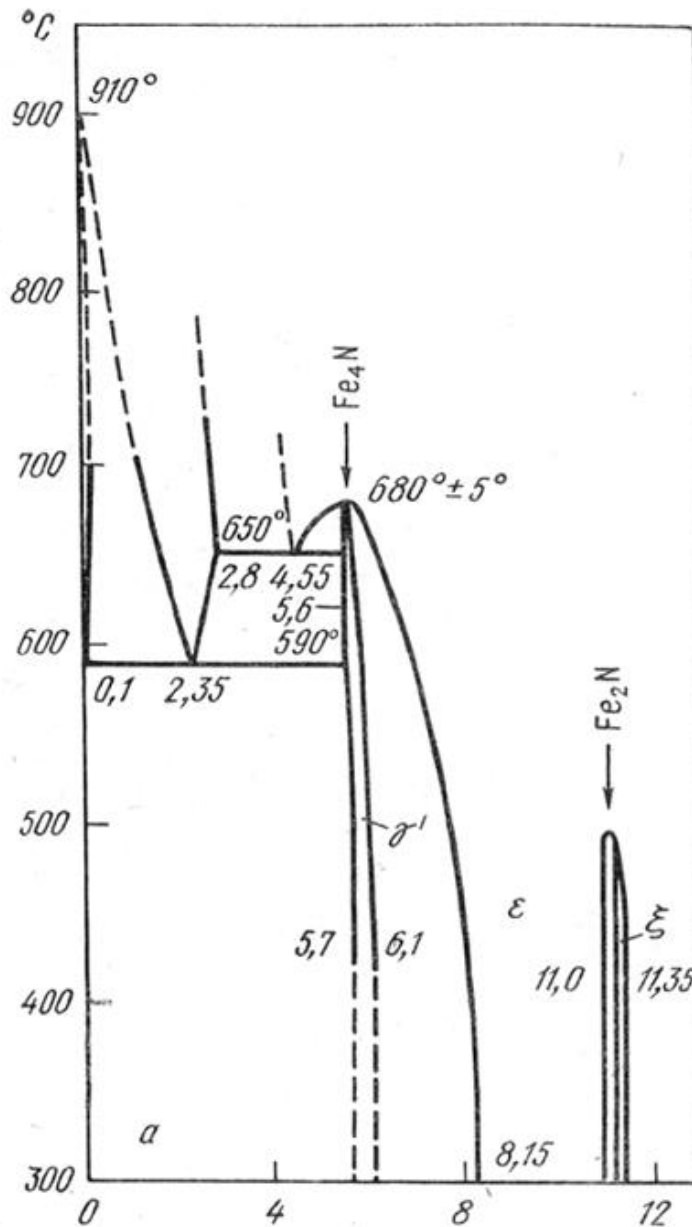


Рисунок 1.1 – Діаграма стану системи Fe-N [38]

Метастабільна діаграма стану системи Fe-N (рисунок 1.1) не дає повної інформації про фазові перетворення в сплавах цієї системи. Так, в залежності від умов азотування заліза в дифузійній зоні можуть утворюватися різні фази: α - азотистий ферит, γ - азотистий аустеніт, нітриди заліза (γ' - Fe_4N , ϵ - Fe_{23}N , ξ - Fe_2N), α' - азотистий мартенсит. При азотуванні сталей можливе утворення карбонітридів і нітридів легувальних елементів [38].

При температурі азотування на поверхні заліза утворюються тільки однофазні шари згідно фазової діаграми «залізо- азот». При охолодженні

після азотування відбуваються зміни структури, обумовлені температурною залежністю розчинності азоту в різних фазах, або фазовими перетвореннями аустеніту в $(\alpha + \gamma')$ - евтектоїд або α' - азотистий мартенсит. У разі високотемпературного азотування вище 650°C може відбуватися евтектоїдний розпад $\varepsilon \leftrightarrow (\gamma + \gamma')$. При азотуванні нижче 590°C дифузійна зона складається з шарів ε - і γ' - фаз. В результаті повільного охолодження до нормальної температури в шарі ε -фази і з прилеглої до шару α -фази виділяється γ' - фаза. Підшар $\alpha + \gamma'$, що утворився в процесі розпаду, називається зоною внутрішнього азотування. Азотування в інтервалі $590 - 650^\circ\text{C}$ призводить до утворення шарів ε -, γ' -, γ -фаз. При повільному охолодженні мають місце розпади: $\varepsilon \rightarrow \gamma'$, $\gamma \rightarrow (\alpha + \gamma')$. При швидкому охолодженні з азотистого аустеніту може утворитися структура азотистого мартенситу з невеликою кількістю залишкового аустеніту. Утворення на поверхні заліза шару ξ - Fe_2N можливо при високої активності насичує середовища. При азотуванні легованих сталей спостерігається та ж схема освіти шарів, що і на чистому залозі. Однак при наявності у вихідному твердому розчині вуглецю природа фаз, що виникають в процесі азотування, стає карбонітридним. Крім того, в шарі α -фази, що залягає під нітрид ними фазами, можуть виділятися дрібнодисперсні нітрид легуючих елементів MeN або Me_2N [38-42].

Азотовані поверхні мають високу твердість та високу зносостійкість. Найбільші її значення притаманні суцільним шарам з ε -фази з мінімальним вмістом азоту (Fe_3N) або з карбонітридним ε -фази типу $\text{Fe}_{2-3}(\text{N},\text{C})$, що відрізняється високою пластичністю майже такою ж зносостійкістю характеризується γ' -фаза. Високоазотисті фази ε , ξ (Fe_2N) пористі та крихкі найбільша зносостійкість досягається при короткочасному азотуванні. Високу зносостійкість має зона внутрішнього азотування, отримана на легованих сталях [43]. В деяких випадках вона може перевищувати зносостійкість ε -фази, тоді після азотування з поверхні видаляють нітридні

шари. Межа витривалості азотованого шару інтенсивно зростає зі збільшенням товщини приблизно до 0,15 ... 0,20 мм [44].

Надрізи, подряпини, різкі переходи перерізів, отвори, знижуючи межу витривалості, після азотування практично не надають дії. Вплив азотування тим ефективніше, ніж менше розміри поперечного перерізу і вище конструктивні і технологічні концентратори напружень. Межа витривалості азотованих виробів тим більше, чим більше міцність серце-провини. Азотування може привести до підвищення межі витривалості на 20 ... 60%. Азотування підвищує корозійну стійкість конструкційних сталей в прісній воді і у вологому атмосфері, але в разі якщо на поверхні формується шар безпористої ϵ -фази. В той же час азотування знижує корозійну стійкість нержавіючих феритних і аустенітних сталей. Тому основне призначення азотування- підвищення зносостійкості поверхні і загальної міцності виробу.

Виділяють три основні методи азотування: газове, в тліючому розряді (іонну), в рідких середовищах. Газове азотування є найбільш поширеним способом. Технологічний процес при газовому азотуванні складається з наступних етапів: 1) попередня термічна обробка (поліпшення); 2) механічна підготовка поверхні шліфуням; 3) захист місць, зміст яких не повинен азотуванню (гальванічний захист, лудіння); 4) азотування; 5) остаточне шліфування і доведення розмірів. Азотування зазвичай проводять в середовищі частково дісоційованого аміаку. Склад середовища, температуру і час азотування підбирають відповідно до необхідної товщини і складу шару. Газове азотування проводять в установках безперервного і переривчастого дії різних розмірів і конструкцій [44-45].

Азотування в тліючому розряді або іонне азотування відбувається в ел. дузі, порушуємо між анодом і катодом (деталь) в середовищі аміаку, азоту або суміші азоту з воднем. Тліючий розряд протікає при зниженому тиску (133 ... 1330 Па або від 1 до 10 мм рт. ст.) при різниці потенціалів 470 ... 1100В. При цьому температура знаходиться в межах 470 ... 580°C. В прикатодной області утворюються позитивні іони азоту, що бомбардують

поверхню деталі, в результаті чого вона нагрівається, а іони азоту проникають в метал [46,47]. Азотування в тліючому розряді застосовують для обробки чавунів, конструкційних, інструментальних, мартенситостаріючих, корозійностійких, хромистих, хромонікелевих сталей і тощо. Іонного азотування піддають гідромурфи, вали приводів гідромурф, колінчаті вали і інші деталі автомобілів. Крім того, при низькій температурі 350 ... 400°C можна азотувати таким способом різні інструменти (черв'ячні і модульні фрези, свердла, розгортки, протяжки тощо). Азотування в тліючому розряді має ряд переваг: висока швидкість процесу, відсутність жолоблення виробів, висока якість поверхні і відсутність шкідливих виділень. Азотування в рідких середовищах сталей і чавунів відбувається в розплавах ціаністих солей. Найчастіше процес проводять в ціанідах KCN або NaCN, а також в ціанітних рас плавах KCNO і NaCNO або в карбаміді $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$. Азотування в рідких середовищах застосовують для зміцнення деталей широкої номенклатури (кулачкові та колінчасті вали, зубчасті колеса, шпинделі, шнеки і тощо.) Після рідкого азотування підвищується експлуатаційна стійкість різального і штампового інструменту. Інструмент зі сталей P18, P6M5 азотується при температурах 560 ... 580°C протягом 5 ... 60 хвилин, штампи та прес-форми з сталей 4X4M2BFC, X12M тощо, - 60 ... 180 хвилин. Перевагами рідкого азотування є висока швидкість нагрівання, незначні деформації і зміни розмірів виробу, невелика тривалість процесу. Однак рідке азотування є дуже токсичним процесом, що вимагає також утилізації отруйних відходів виробництва. Крім того, процес складно регулювати [47-52].

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Хімічний склад та механічні властивості сталі

Кільце ущільнююче виготовлено із конструкційної сталі 13X11H2B2MФ Ш (ЭИ961 Ш), яка має хімічний склад та властивості у відповідності з ТУ 14 1 3297 82, ГОСТ 5632-72 та ГОСТ 5949 75 (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі 13X11H2B2MФШ (ЭИ961Ш), % мас.

C	Cr	Mo	V	Ni	W	Si	S	P	Mn
0.1- 0.16	10.5- 12	0.35- 0.5	0.18- 0.3	1.5- 1.8	1.6-2	≥0.6	≥0.03	≥0.03	≥0.6

Термічна обробка заготовок зі сталі 13X11H2B2MФ Ш(ЭИ961Ш) до азотування проходила за таким режимом : гартування $1040 \pm 10^{\circ}\text{C}$, охолодження в маслі та відпускання $650 \pm 10^{\circ}\text{C}$, охолодження в маслі. Механічні властивості згідно зазначеного режиму термічної обробки наведені в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Механічні властивості сталі 13X11H2B2MФШ (ЭИ961Ш).

$\sigma_{0.2}$, МПа	σ_b , МПа	δ_5 , %	ψ , %	КСУ кДж/см ²
735	880	15	55	88

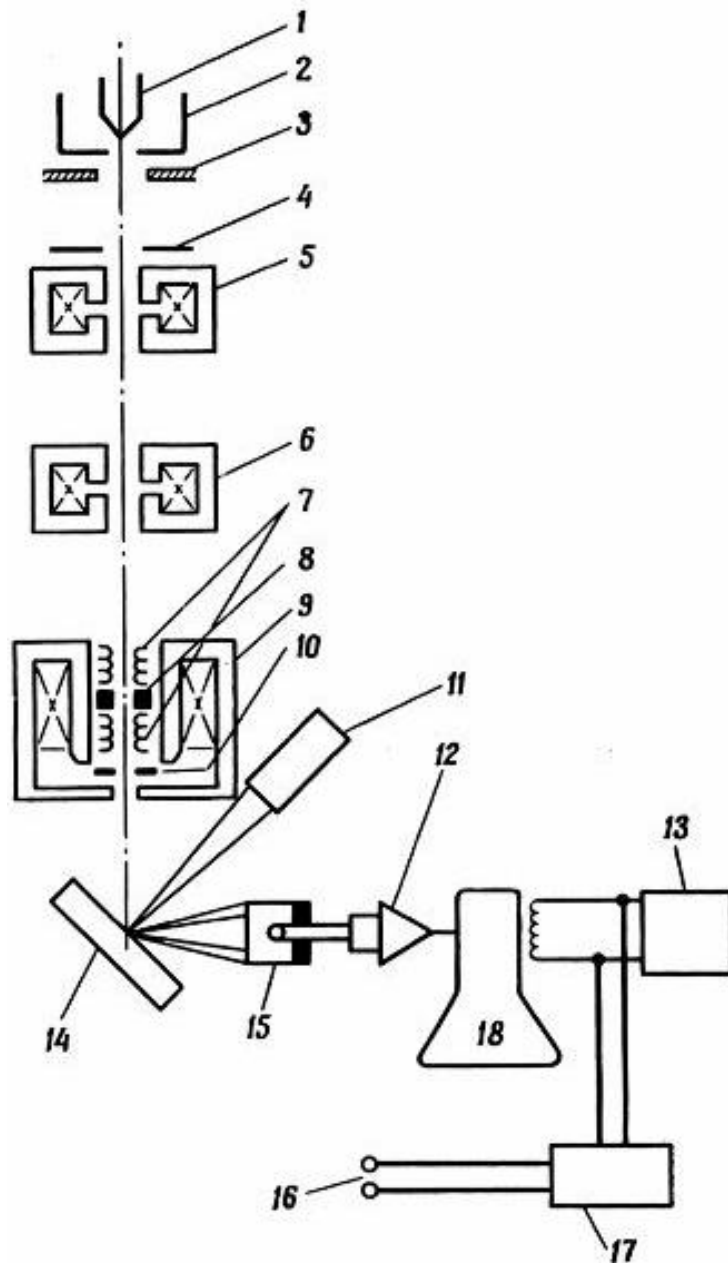
2.2 Дослідження мікроструктури та хімічного складу

Аналіз мікроструктури та хімічного складу виконували на растровому електронному мікроскопі «РЕМ-106І», що оснащений системою енергодисперсійного аналізу, за прискорювальної напруги 20 кВ у вторинних електронах.

Растровий електронний мікроскоп (РЕМ) призначається для дослідження і аналізу мікроструктурних характеристик сплавів. Він дозволяє одержувати зображення мікрорельєфу поверхні зразків з високою роздільною здатністю і значною глибиною різкості, а також проводити аналіз хімічного складу дослідженої ділянки зразка з використанням рентгенівського мікроаналізатора. Електроннооптичну схему РЕМа зображено на рис. 2.1.

Електрони з вольфрамового катода, розжареного до 2430°C, прискорюються в електричному полі, створеному різницею потенціалів (до 50 кВ) між катодом 1 і анодом 3. За допомогою конденсорних лінз 5 і 6 та об'єктивної лінзи 9 пучок електронів формується у вузький зонд розміром 0,1-3 мкм. Змінюючи струм у лінзах, здійснюють регулювання інтенсивності та фокусування зонда на поверхні зразка 14 за рахунок взаємодії магнітного поля лінз з пучком електронів.

Вузький сфокусований пучок електронів може бути нерухомим, або розгортатися в растр за допомогою генератора сканування 13 та відхиляючої системи 7. Синхронно із скануванням зонда на екрані електроннопроменевої трубки (ЕПТ) 18 формується зображення.



1 – катод; 2 – фокусуючий електрод; 3 – анод; 4 – діафрагма;
 5,6 – конденсорні лінзи; 7 – котушка подвійного відхилення; 8 – стигматор;
 9 – об'єктивна лінза; 10 – діафрагма для обмеження розміру пучка;
 11 – детектор рентгенівського випромінювання; 12 – підсилювач;
 13 – генератор сканування; 14 – зразок; 15 – детектор вторинних електронів;
 16 – клеми для підключення відхиляючої системи; 17 – блок регулювання збільшенням; 18 – ЕПТ.

Рисунок 2.1 – Схема електронної оптики растрового електронного мікроскопа з мікроаналізатором

При взаємодії первинних електронів із зразком відбуваються такі процеси: відбиття електронів внаслідок пружного розсіяння, поглинання електронів, поява вторинних електронів та утворення характеристичного рентгенівського випромінювання.

Відбиті електрони – це пружнорозсіяні електрони з такою ж довжиною хвилі, як і у первинних, бо зміна траєкторії їх розповсюдження у зразку відбувається із незначною втратою енергії. Слабозв'язані електрони, після непружної взаємодії з первинними електронами, емітують із зовнішніх оболонок атомів зразка, тому їх називають вторинними електронами. При взаємодії первинних електронів із електронами внутрішніх оболонок атомів зразка також виникає характеристичне рентгенівське випромінювання. Енергія рентгенівських квантів електронів, а саме довжина хвилі, є характеристикою хімічного елемента.

Вторинна електронна емісія виникає поблизу місця падіння зонда від усіх точок складного рельєфу. За допомогою детектора 15, встановленого біля зразка, сигнали від електронів, що виходять з поверхні зразка, перетворюються в електричні імпульси. Після проходження через підсилювач 12, вони передаються в модулятор електроннопроменевої трубки 18. Сканування електронного зонда по поверхні об'єкта і променя на екрані ЕПТ здійснюється синхронно від генератора сканування 13 і тому кожній точці на зразку відповідає точка на екрані ЕПТ.

При переміщенні зонда, у відповідності зі зміною локальних властивостей зразка (частинки інших фаз, рельєф поверхні і тощо), змінюється кількість розсіяних електронів і відповідно змінюється яскравість точки на екрані ЕПТ, тобто виникає контраст і створюється зображення поверхні зразка.

В РЕМі використовують два види контрасту: контраст від хімічного складу, що залежить від атомного номеру елементів, і топографічний контраст, який визначається рельєфом поверхні зразка.

Контраст від хімічного складу виникає тому, що ділянки з великим атомним номером будуть більш яскравішими, бо кількість розсіяних електронів пропорційна атомному номеру елемента. Топографічний контраст, на відміну від попереднього, пов'язаний з розташуванням рельєфної поверхні під різними кутами до напрямку падіння зонда. Більша кількість електронів буде реєструватися від тих ділянок рельєфу, що мають більший кут між нормаллю до поверхні ділянки (в точці падіння первинного пучка) і його напрямком.

Враження об'ємності структури поверхні пояснюється великою глибиною зображення РЕМа. Цей вид контрасту використовується при вивченні зламів.

При реєстрації струму поглинання контраст зображення буде протилежним контрасту у відбитих (розсіяних) та вторинних електронах.

Збільшення зображення, одержаного в РЕМі, дорівнює відношенню лінійних розмірів растра на екрані ЕПТ і растра на зразку. Розмір растра на об'єкті можна регулювати зміною сили струму в растрових котушках. Загальне збільшення коливається в широкому діапазоні від 50 до 200 тис. разів і значно перебиває діапазон збільшення світлового мікроскопа.

2.3 Приготування зразків для випробувань

Приготування зразків для випробування складається декількох послідовних операцій: підготування плоскої поверхні, шліфування, полірування та травлення.

Плоску поверхню підготовляють на торцевій поверхні зразка. Зразок обробляють на обертовому шліфувальному крузі або обпилюють напилком. При великій частоті обертання шліфувального круга підготовку поверхні ведуть з охолодженням зразка і з малим тиском. Перегрів зразка і сильна

механічна дія змінюють мікроструктуру, що призводить до помилкового результату дослідження.

Шліфування металографічних зразків механічним способом ведуть на спеціальних шліфувальних верстатах. Шліфувальний верстат являє собою один або кілька металевих кіл, що приводяться в рух електродвигуном. При механічному шліфуванні зразки часто нагріваються, в цьому випадку їх періодично охолоджують у воді.

Після завершення шліфування на поверхні шліфа залишаються тонкі риси. Щоб остаточно вирівняти поверхню, шліф полірують до дзеркального блиску. Полірування шліфа механічним способом проводиться на полірувальному верстаті, принциповий пристрій якого таке ж, як і шліфувального. Над полірувальним верстатом прикріплюють бачок для полірувальної рідини, яка через трубку з краном подається на полірувальний круг. Круг полірувальний поміщений в кожух, що має патрубок для відводу рідини. Коло покривають м'якою тканиною: сукном, фетром, драпом, шовком тощо. Чим м'якше полірований метал, тим тонше повинна бути тканина. Якщо з шліфа можуть викришується фази, то полірувати його слід тканиною без ворсу.

Після полірування зразок травиться в 10% розчині HCl впродовж 10... 15 с.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Сучасні газотурбінні установки(ГТУ) відрізняються різноманітністю конструкцій та типів(закритого, відкритого циклів), робочого тіла (тих, що працюють за рахунок спалення палива або за рахунок зовнішнього джерела тепла, наприклад тепла газів, що отримані в виробничому процесі), призначення (стаціонарні, транспортні, авіаційні, судові). Серед стаціонарних слід згадати ГТУ, що призначені для перекачування газу в магістральних газопроводах та енергетичні, зокрема, призначені для покриття піків електричних напруг .

Газотурбінні двигуни, для забезпечення потреб сучасного авіабудування, розробляють з максимальними показниками навантаження, що викликає зростання температур експлуатації деталей до найбільших показників. Значно менші напруження і температури приймають деталі компресорного тракту, але вимоги до цих матеріалів залишаються доволі високими. Сучасні компресори в потужних двигунах створюють потік повітря в осьовому напрямку. Вони складаються з ступеней, що утворені нерухомими соплами та лопатками, що обертаються. Від ступені до ступені потік повітря стискається, підвищується температура, ступінь стискання може сягати від 16 до 25.

Для підвищення зносостійкості, контактної витривалості, корозійної стійкості, витривалості поверхні деталей ГТУ широко використовують азотування. Вироби, які пройшли аналогічну хіміко-термічну обробку, експлуатуються до температур близько 300°C довготривало зберігаючи властивості. Таким чином, навантажені деталі, за рахунок азотування, будуть теплостійкими та зносостійкими одночасно, що збільшує спектр їх використання у газотурбобудуванні. Однією з таких деталей є ущільнюоче кільце, яке повинно забезпечувати щільність з'єднання за рахунок контакту з корпусом компресора. Зона інтенсивного зношення оброблюється

азотуванням та експлуатується при температурі 550°C. Вихід з ладу деталі призведе до порушення герметичності, що знизить експлуатаційні показники компресору. Отже, аналіз причин виходу з ладу та обговорення можливостей вирішення поставленої задачі, такої важливої деталі як ущільнювальне кільце, є актуальною проблемою газотурбінного виробництва.

Хімічний склад сталі, що досліджується наведено в таблиці 2.1. Можна відмітити вплив хімічного складу на властивості сталі. Хром (Cr) підвищує твердість і міцність, незначно зменшуючи пластичність. Збільшує корозійну стійкість, при вмісті 12,5% робить сталь нержавіючою. Нікель (Ni) надає стали корозійну стійкість, високу міцність і пластичність, збільшує прогартовуваність, впливає на зміну коефіцієнту теплового розширення. Вольфрам (W) утворює в сталі дуже тверді хімічні сполуки - карбіди, що в свою чергу різко збільшують твердість, перешкоджає росту зерен при нагріванні; сприяє усуненню крихкості при відпусканні. Ванадій (V) підвищує твердість і міцність; подрібнює зерно, збільшує густину сталі, також є хорошим розкислювачем. Молібден (Mo) збільшує червоностійкість, пружність, межу міцності при розтягу; підвищує антикорозійні властивості і опір окисленню при високих температурах. Температура гартування сталі 13X11H2B2MФ Ш (ЭИ961Ш) складає $1040 \pm 10^\circ\text{C}$, охолодження в маслі, проте температура відпускання значно впливає на властивості сталі (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Вплив температури відпускання на властивості сталі ЭИ961Ш

Температура відпускання, °C	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_b (МПа)	δ_5 (%)	ψ %	KCU (кДж /м ²)	HB(HRC ₉)
1	2	3	4	5	6	7
200	1330	1520	12	56	61	432
300	1330	1470	13	59	60	420

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7
400	1340	1490	13	54	61	432
450	1380	1500	15	56	54	420
475	1430	1530	13	54	37	440
500	1190	1330	13	60	71	390
550	1090	1240	15	61	88	337
600	910	1090	15	61	105	308
650	750	900	16	63	108	268
700	120	880	17	64	120	250

Для більш наглядної демонстрації властивостей залежність міцності та ударної в'язкості від температури відпускання наведена на рисунку 3.1

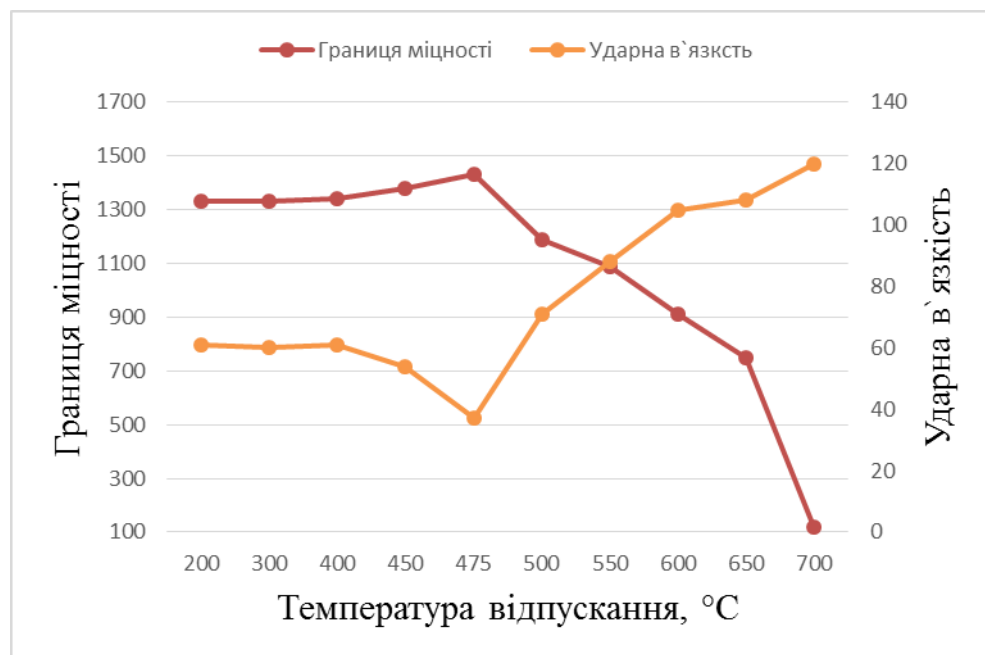


Рисунок 3.1 – Залежність границі міцності та ударної в'язкості від температури відпускання

Як видно із наведених даних сталь схильна до відпускнуї крихкості відвортної 2-го роду, при температурі 475°C, це пов'язано із тим, що при такій температурі по границям зерен відбувається прискорене

карбідоутворення та насичення карбідної фази хромом, вольфрамом. Це призводить до збіднення граничних шарів зерна на карбідоутворювальні елементи. Отже, оптимальною температурою відпускання є температури 650°C , сталь набуває високих значень ударної в'язкості із задовільними значеннями міцності та твердості.

Отже, сталь перед азотуванням піддається гартуванню при температурі $1040 \pm 10^{\circ}\text{C}$ та відпусканню 650°C .

Азотування використовується з метою підвищення експлуатаційних характеристик, значень міцності та твердості.

Корозійностійкі сталі перед азотуванням піддають травленню в водних розчинах кислот для видалення окисної плівки. Для депасивації високохромистих сталей застосовують чотирихлористий вуглець або хлористий амоній. Рекомендована температура азотування 600 ± 10 , час азотування приблизно 8-16 годин. Згідно діаграми стану, що наведена на рисунку 3.2 можна зробити висновок про структуру шару, який формується в процесі азотування.

У відповідності із метастабільною діаграмою Fe-N при азотуванні утворюються наступні фази:

α -фаза – твердий розчин впровадження (втілення) атомів азоту у Fe α , гратка ОЦК ($a=0,2866\ldots 0,2877$ нм); максимальна розчинність при евтектоїдній температурі дорівнює 0,11%, при 20°C – 0,004%; твердість HV 100...150;

γ -фаза – твердий розчин впровадження атомів азоту в Fe γ , гратка ГЦК ($a=0,360\ldots 0,364$ нм), максимальна розчинність 2,8% N при температурі 650°C , твердість HV 140...160; α' - азотистий мартенсит, пересичений твердий розчин азоту в α -Fe, гратка тетрагональна об'ємно-центрована ($a \leq 0,2860$ нм), твердість HV 660...690;

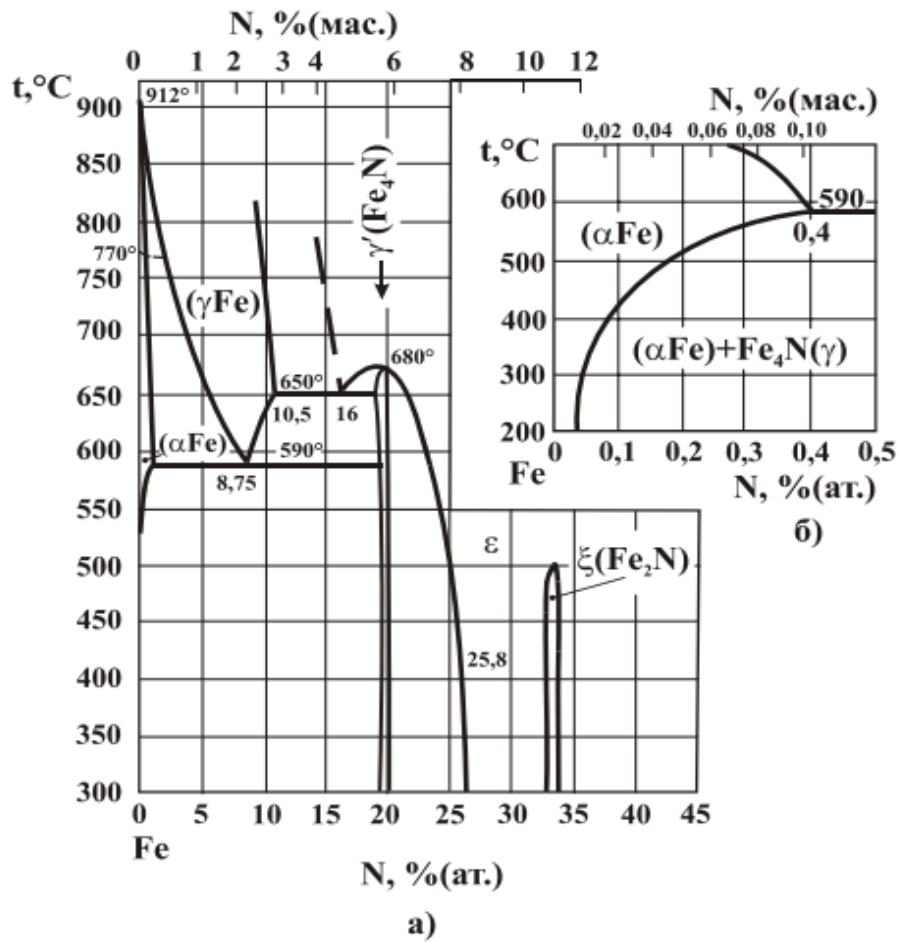


Рисунок 3.2 - Метастабільна діаграма стану Fe-N (а) та область розчинності азоту у фериті (б)

γ' - твердий розчин на основі нітриду Fe_4N , ґратка ГЦК, концентрація азоту 5,30...5,75 %, твердість HV 470...490;

ϵ -фаза – твердий розчин на основі нітриду Fe_{2-3}N , ґратка – гексагональна щільно пакована, вміст азоту 8,55...11,0 % твердість HV 260...300;

ξ -фаза – твердий розчин на основі нітриду Fe_2N , ґратка – ромбічна, концентрація азоту 11,07...11,18 %, кристалізується із ϵ -твердого розчину при 500°C.

Такі фази, як α , γ , ϵ мають невисоку твердість. Азотистий мартенсит (α' -фаза) – найбільш тверда фаза і утворюється при швидкому охолодженні виробів від температур вище 590°C.

Поблизу поверхні азотованої сталі (рисунок 3.3) частіше розташовується тонка крихка нітридна зона, що не травиться. Під цією зоною знаходиться основна зона азотованого шару, що відрізняється при невеликому збільшенні від сорбітної структури серцевини сталі лише більшим травленням. Ця зона складається з α - і γ' -фаз; в тій її частині, яка примикає до нітридної крайки, іноді присутні нітриди заліза у вигляді тонких прожилок.

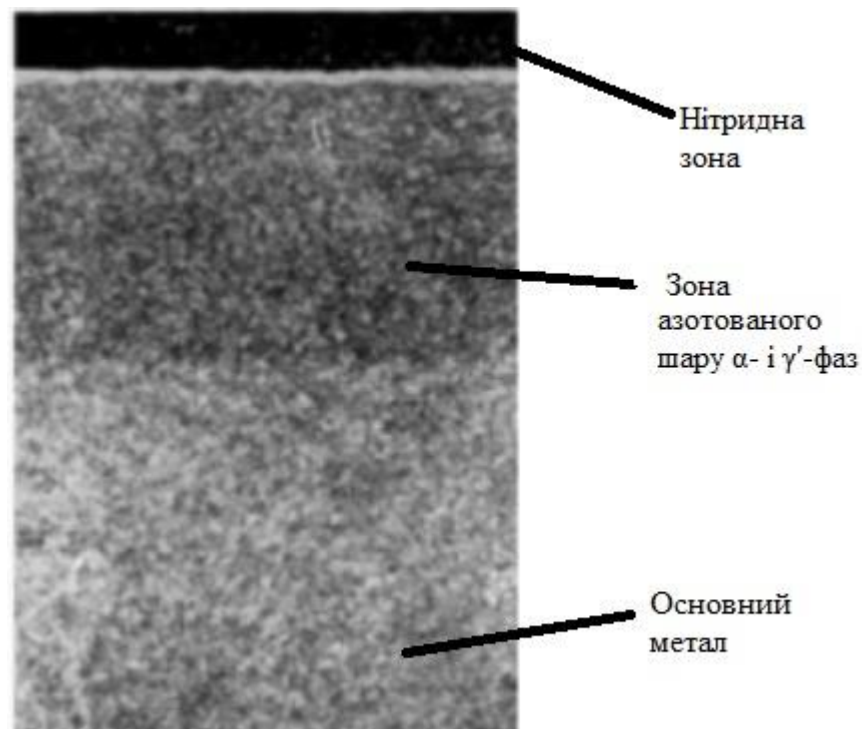
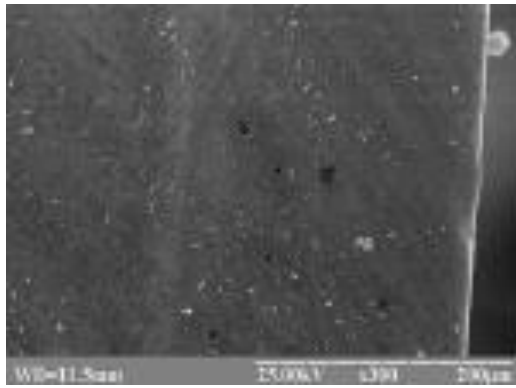


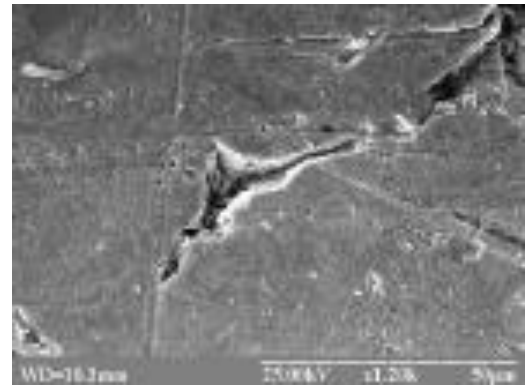
Рисунок 3.3 – Мікроструктура азотованого шару $\times 200$

Легувальні елементи сталі 13X11H2B2MФ Ш разом із азотом утворюють нітриди VN , Mo_2N , MoN , Cr_2N , CrN . Нітриди легувальних елементів та зони із підвищеною концентрацією атомів азоту та легувальних елементів у твердому розчині дозволяють досягнути твердості $\text{HV} > 850$

Отже, після повного спектру термічної обробки на поверхні, що піддавалась азотуванню, були виявлені сліди корозії, які не допускаються нормативними документами (рис. 3.3).



а



б

Рисунок 3.3 - . Мікроструктура азотованого шару після термічного оброблення

Форма корозійних вкраплень має різний характер, від витягнутих до сферичних отворів, що хаотично розміщуються по азотованому шару товщиною 200–250 мкм. Шар має щільну структуру без відшаровування від основного металу з плавною зоною переходу. Основною метою було визначення причин утворення корозії в поверхневому шарі матеріалу. Для досягнення поставленої мети було запропоновано визначення хімічного складу матеріалу ущільнюючого кільця, для порівняння з технічними умовами постачання. Дослідження проводилося на растровому електронному мікроскопі РЕМ-106І, що оснащений системою енергодисперсійного аналізу, який показав результати, що узгоджуються з наведеними в документації значеннями (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Порівняння хімічного складу сталі 13X11H2B2MФ Ш ЭИ 961 Ш) згідно ГОСТ 5632-72 із експериментальними значеннями

	C	Cr	Mo	V	Ni	W	Si	S	P	Mn
ГОСТ 5632-72	0.1- 0.16	10.5- 12	0.35- 0.5	0.18- 0.3	1.5- 1.8	1.6- 2	≥0.6	≥0.03	≥0.03	≥0.6
Експериментальний результат	0,1	11,7	0,42	0,27	1,62	1,78	0,5	-	-	0,54

Як видно з результатів, що наведені в таблиці 3.1 відповідають посереднім значенням встановленим ГОСТом.

Ймовірно руйнування поверхневого шару відбувається на деякому етапі термічного оброблення, на якому не дотримуються технічних рекомендацій. На рисунку 3.2 наведена мікроструктура сталі після проведеного гартування.



Рисунок 3.4 - Мікроструктура сталі після гартування

Детальний аналіз мікроструктури (рисунок 3.4), після кожного виду термічної обробки, виявив утворення в поверхневих шарах окисли після гартування від температури 1040 ± 10 °C. Нагрівання проходить в печі СНО, що є неприпустимим для сталі 13X11H2B2MФ Ш (ЭИ-961 Ш), оскільки інтенсивне окислення в ній розвивається при температурі 750°C. Хоча виріб після гартування і проходить обдирання поверхні, для зняття окислів, однак повністю вони не зникають, а подальше азотування зберігає в структурі сліди корозії, що починають інтенсивно розвиватися.

Таким чином деталь має невиправний дефект, що змушує виробника повністю утилізувати виріб, без можливості зняття пошкодженого шару поверхні. Для усунення вказаного недоліку термообробки, з максимально наближеними технологіями до технологій підприємства, можливо зробити наступні кроки:

- збільшити припуск на механічну обробку (обдирання), для повного усунення шару зі слідами корозії;
- виконувати нагрівання під гартування в захисній атмосфері, що повністю усуне присутність корозії та таку операцію як обдирання;
- змінити марку сталі на більш леговану (з рівнем хрому на рівні 17-20% (мас.)), що підвищить корозійну стійкість виробів, але може привести до незначного збільшення часу азотування.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Тенденції розвитку світового ринку технологій термообробки

Ринок технологій є найважливішим фактором сучасної міжнародної економіки.

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

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

Проте досягнення України в створенні сучасної авіаційної техніки загальнопризнанні. Розробки заводу АТ «МОТОР СІЧ» користуються попитом далеко за межами країни. Для отримання високих вихідних технічних характеристик двигуна слід ретельно поетапно здійснювати процес його створення не тільки на технологічних і складальних етапах, а й удосконалювати всі процеси, починаючи з заготівельного і далі по всьому життєвому циклу двигуна. Таким чином, актуальним є удосконалення конструкторських і технологічних підходів до забезпечення якості як окремих деталей ГТД, так і виробництва в цілому. У той же час слід зазначити, що достатні резерви підвищення якості виготовлення деталей ГТД приховані в питаннях вдосконалення технології виробництва компресорів ГТД, та окремо ущільнювальних кілець, як окремої складової двигуна.

4.2 Розрахунок кошторису витрат на проведення науково-дослідницької роботи

Метою цього розділу є обґрунтування доцільності проведення аналізу причин виявлення причин руйнування кільця компресора виготовленого зі сталі 13X11H2B2МФ Ш.

До складу витрат на виконання науково-дослідницької роботи включається вартість всіх ресурсів, необхідних для реалізації комплексу робіт.

Для визначення витрат на проведення науково-дослідницької роботи та технологічних випробувань, які вказують на доцільність використання нової сталі, складається кошторис витрат (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Кошторис витрат на виконання науково-дослідницької роботи

Стаття витрат	Сума
Матеріали	4533
Витрати на спеціальне устаткування	70045
Основна заробітна плата	24990
Додаткова заробітна плата	2240
Єдиний соціальний внесок	5992
Накладні витрати	22491
Інші витрати	569.66
Разом	130860

1) Розрахунок вартості матеріалів.

До цієї статті відносять витрати на придбання основних матеріалів для проведення дослідження, а також для виготовлення макетів та дослідних зразків.

Таблиця 4.2 - Розрахунок вартості матеріалів

Матеріал	Витрати матеріалу, кг	Ціна за одиницю, т	Сума витрат
Сталь 13X11H2B2MФ Ш	20	131000	2620
Реактиви	-	-	512
Фотопапір			69
Усього			4252
Транспортно-заготівельні витрати (5%)			212
Всього			4533

2) Спеціальне обладнання для наукової (експериментальної) роботи

В цій статті враховуються витрати на купівлю, доставку та монтаж лабораторних установок, вимірювальних та регулюючих приладів, пристроїв, випробувальної апаратури та тощо.

Таблиця 4.3 – Витрати на спеціальне устаткування

Перелік устаткування	Ціна за один., грн	Срок експлуатації	Амортизація	Кіл-ть днів	Вартість експлуатації
Розривна машина ЦД-10	2284880	25	9139	8	6858
Твердомір ТК-2	23500	25	940	2	705
Растровий електроний мікроскоп РЕМ 1061	2077092	15	138472,8	6	62312
Разом					70045

3) Розрахунок заробітної плати

Витрати за цією статтею складаються із планового фонду зарплати усіх категорій працівників, які зайняті на проведенні наукових досліджень. Результати розрахунків наведені в табл. 5.4.

Додаткова зарплата визначається в розмірі 8-10 % від основної заробітної плати штатних працівників.

$$ЗП_{\text{доп}} = ЗП_{\text{осн}} \cdot 0,09 = 24\,990 \cdot 0,09 = 2249 \text{ грн.} \quad (4.1)$$

Основна й додаткова заробітна плата по кошторису не повинна перевищувати 40 % кошторисної вартості

Таблиця 4.4 - Розрахунок основної заробітної плати

№	Посада виконавця	Кіл-ть людей	Місячний оклад, грн	Середньоденна зарплата, грн	Зайнятість НДР, днів	Загальна сума, грн
1	Головний науковий співробітник	1	5400	270	35	9450
2	Молодший науковий співробітник	1	3500	175	76	13300
3	Лаборант	1	3200	160	14	2240
4	Разом					24 990

4) Відрахування на соціальне страхування

Ці витрати визначаються в розмірі 22% основної та додаткової зарплати. Ці дані заносяться до табл. 4.1.

$$C_{\text{соц.стр.}} = (3P_{\text{осн}} + 3P_{\text{доп}}) \cdot 0,22 = (24\,990 + 2249) \cdot 0,22 = 5992 \text{ грн.} \quad (4.2)$$

Накладні витрати по проведенню науково-дослідницької роботи визначаються у відсотках від основної заробітної плати її виконавців (у межах 80-100%). До них відносяться витрати, пов'язані з управлінням, утриманням і експлуатацією устаткування й приміщень, створенням необхідних санітарно-гігієнічних умов.

$$C_{\text{н}} = 3P_{\text{осн}} \cdot 0,9 = 24\,990 \cdot 0,9 = 22\,491 \text{ грн.} \quad (4.3)$$

Стаття "Інші витрати" складає 2-3 % суми усіх попередніх статей витрат на утримання і експлуатацію устаткування.

$$C_{\text{і}} = (C_{\text{соц.стр.}} + C_{\text{н}}) \cdot 0,02 = (5992 + 22\,491) \cdot 0,02 = 569,66 \text{ грн.} \quad (4.4)$$

4.3 Розрахунок економічного ефекту від впровадження результатів науково-дослідницької роботи

Факторами, що забезпечують економічний ефект при використанні сплаву на основі нікелю замість серійної штампової сталі є збільшення

Економічний ефект від зменшення кількості металу на виготовлення інструменту розраховано згідно з формулою:

$$\Delta M = K_{\text{с}} \cdot [\Pi - K_1 \cdot (K_2 \cdot K_3 \cdot \Pi_0 + K_4 \cdot \Pi_{\text{с}})] - [\Pi^1 - K_1 \cdot (K_2 \cdot K_3 \cdot \Pi_0^1 + K_4 \cdot \Pi_{\text{с}}^1)] \quad (4.5)$$

де K_C – коефіцієнт стійкості інструменту з нової сталі у порівнянні зі сталлю, що використовується

Π та Π^1 - оптова ціна сталі, що використовується та нового сплаву відповідно, грн/т;

K_1 – коефіцієнт, що враховує безповоротні втрати відходів в процесі збирання та транспортування (рівний 0,9);

K_2 – коефіцієнт, що враховує повернення амортизаційного лому (рівний 0,4);

K_3 – коефіцієнт використання нового сплаву;

K_4 – коефіцієнт, що враховує кількість стружки при виготовленні кільця компресору;

Π_0 та Π_0^1 - ціна кускових відходів сталі, грн/т;

Π_C та Π_C^1 - ціна стружки сталі, грн/т.

В таблиці 5.5 наведені вихідні дані для розрахунку економічного ефекту від впровадження результатів роботи.

Таблиця 4.5 - Вихідні дані для розрахунку економічного ефекту від впровадження результатів роботи

Найменування показників	Кільця компресора	
	Базовий варіант	Запропонований варіант
1	2	3
Коефіцієнт стійкості	1	3,8
Вартість виготовлення одиниці виробу, грн.	120	120
Оптова ціна вихідного матеріалу, грн/т	56000	131000
Середній коефіцієнт використання	0,4	0,4

Продовження таблиці 4.5

Коефіцієнт, що враховує кількість стружки при виготовленні кільця компресора	0,6	0,6
Кількість виготовленого виробу з 1 т сталі, шт.	120	120
Ціна кускових відходів, грн/т	2500	5000
Ціна стружки, грн/т	1000	1500

Економічний ефект від зниження витрат на виготовлення виробу визначається згідно з формулою:

$$\mathcal{E}_И = (K_C \cdot C - C^1) \cdot B$$

де C та C^1 - вартість виготовлення інструменту зі сталі ЭИ 691 та ЭИ 691 із азотуванням відповідно;

B – кількість інструменту, виготовленого з 1 т сталі.

Повний економічний ефект $\mathcal{E}_П$:

$$\mathcal{E}_П = \mathcal{E}_М + \mathcal{E}_И$$

Розрахунок економічного ефекту:

$$\mathcal{E}_М = 3,8 \cdot [56000 - 0,9 \cdot (0,4 \cdot 0,4 \cdot 2500 + 0,6 \cdot 1000)] - [131000 - 0,9 \cdot (0,4 \cdot 0,4 \cdot 5000 + 0,6 \cdot 1500)] = 209380 - 129470 = 79910 \text{ грн/т}$$

$$\mathcal{E}_И = (3,8 \cdot 120 - 120) \cdot 120 = 40320 \text{ грн/т}$$

Повний економічний ефект рівний: $\mathcal{E}_П = 79910 + 40320 = 120230 \text{ грн/т}$

У подальші роки економічний ефект збільшиться на величину витрат на проведення науково-дослідницької роботи та технологічних випробувань, оскільки витрати будуть виплачені в першому році.

Отже, застосування результатів даної науково-дослідницької роботи на практиці має економічне обґрунтування. Доцільність впровадження даної розробки підтверджується проведеними вище розрахунками та допоможе

знизити витрати на ремонт двигуна, так як ймовірність виходу із ладу компресора зменшується. Очікуваний економічний ефект від впровадження науково-дослідницької роботи становить 120230 грн/т при витратах на дослідження 130860 грн.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи з охорони праці, при аналізі причин руйнування ущільнювального кільця компресора двигуна ТВЗ-117.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

а) Можливість ураження електричним струмом. Основними причинами є порушення правил з електробезпеки, зокрема допуск до виконання робіт осіб, які не пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки, або несправності енергоспоживаючого обладнання, які можуть призвести до електричних травм або до летальних наслідків.

б) Небезпеки, які пов'язані з невиконанням вимог ергономіки стосовно організації робочого місця дослідника в приміщенні дослідницької лабораторії, зокрема недостатності площі на одне робоче місце або нераціональне розташування дослідницького обладнання.

в) Небезпеки, які пов'язані з підготовкою дослідницьких зразків або матеріалу для подальшого проведення досліджень, зокрема можливість отримання механічних травм при нарізці заготовок на відрізнному станку, проведенні шліфувально-полірувальних операцій та визначенні хімічного складу вихідного матеріалу.

г) Небезпеки, які пов'язані негативним впливом теплового випромінювання при гартуванні та можливість отримання хімічних опіків внаслідок необережного поводження з травильними розчинами, або небезпека ушкодження органів зору внаслідок хибного вибору світлофільтрів мікроскопу.

г) Можливість отримання механічних травм при випробуванні механічних, експлуатаційних властивостей дослідницьких зразків.

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

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

є) Незадовільне освітлення робочих місць в дослідницьких лабораторіях, внаслідок виходу з ладу джерел освітлення, що може призвести до погіршення зору та зниження працездатності.

ж) Можливість загоряння в наслідок порушення правил пожежної безпеки, порушень правил зберігання легкозаймистих речовин, або коротких замикань, що може призвести до пожежі.

з) Небезпеки, які пов'язані з умовами праці у надзвичайних ситуаціях, зокрема порядок проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт.

5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

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

- організаційні заходи: до виконання робіт допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки, та отримали відповідну ДНАОП 1.1.10-1.01-2000 «Правила безпеки експлуатації електроустановок споживачів», групу з електробезпеки (2 група - при напрузі 2000 В. 3 група при напрузі більше 3000 В). Експлуатацію та ремонт електрообладнання повинен здійснювати тільки

спеціально підготовлений персонал. Для кожного виду обладнання повинні бути складені схеми нормування роботи та роботи в аварійних ситуаціях.

- технічні заходи: усі не ізолювані струмопровідні елементи електрообладнання повинні бути надійно огорожено суцільними огороженнями, зняття або відкриття, яких можливе тільки за допомогою спеціальних пристроїв; розташування струмоведучих ланцюгів виконується на недоступній висоті (при напрузі до 1000 В - не менше 3,5 м; при напрузі більше 1000 В - не менше 6 м); обов'язковим є наявність захисного заземлення з опором не більше 4 кОм.

б) Для виключення негативного впливу факторів, пов'язаних з ергономічністю робочого місця технолога ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования». Передбачено:

- конструкція та взаємне розташування елементів робочої зони, повинні відповідати характеру роботи, а також антропометричним, фізіологічним та психологічним особливостям технолога;

- як правило, основним приладдям в робочих зонах технолога є комп'ютерний стіл та стілець. Для оптимізації негативних наслідків синдрому статичного навантаження, площа комп'ютерного стола повинна забезпечувати зону повного досягнення. Для запобігання тунельного синдрому, кут згину руки в лікті має бути прямим, оптимальна висота клавіатури відносно поверхні стола не більше 30 мм, при куті підйому від 2 до 15°. Комп'ютерна «миша» не повинна розташовуватися на краю стола, щоб долоня при роботі звисала. Робочий стілець або крісло повинно мати підлокітники, бути поворотним та регульованим за висотою та кутом нахилу спинки [20].

в) Для уникнення механічних травм при виготовленні зразків до випробування необхідно виконувати вимоги інструктажів з охорони праці при роботі на металообробному обладнанні згідно ДНАОП 1.1.10-1.04-01 «Правила безпечної роботи з інструментом і пристосуваннями», ГОСТ

12.3.028-82 «Процесс обработки абразивными и эльборовым инструментом» зокрема, установка абразивних кіл на верстатах повинна проводитися тільки спеціально проінструктованими наладчиками, використання абразивних кіл з дефектами заборонено, абразивні кола повинні мати штамп або наклейку про випробування, порядковий номер кола і підпис особи, відповідальної за випробування, біля кожного верстата необхідно вивісити табличку із зазначенням допустимої роботи колової швидкості використовуваних кіл і частоти обертання шпинделя верстата в хвилину, при обертанні абразивного кола, виступаючі кінці шпинделя і кріпильні деталі захистити захисними кожухами, підручники повинні мати достатній за величиною майданчик для стійкого положення оброблюваного виробу. Зазор між краєм підручника і робочою поверхнею шліфувального круга повинен бути не більше 3 мм. Використовувати індивідуальні засоби захисту, зокрема для виключення травмування органів зору передбачено застосування захисних окулярів.

г) Для запобігання термічних опіків передбачено використання індивідуальних засобів захисту, зокрема рукавиці спеціальні ГОСТ 12.4.010-75.

Для попередження хімічних опіків передбачено використання індивідуальних засобів захисту, зокрема гумових рукавиць ГОСТ 20010-93, фартухів ГОСТ 12.4.029-76, захисних окулярів ГОСТ 12.4.013-85.

При визначенні залишкового аустеніту доцільно використовувати метод світлової мікроскопії. При визначенні мікроструктури важливе значення має якість підготовленої до досліджень поверхні. Після шліфування та полірування використовують метод травлення в суміші азотної кислоти та етилового спирту. Для запобігання ураження органів зору при визначенні мікроструктури обов'язковим є екранування зони сканування захисним екраном. На оптичному мікроскопі необхідно обирати світлофільтр, який є оптимальним для повного збільшення. При точному наведенні на фокус, обертати мікрометричний гвинт тільки на пів оберту.

г) Для запобігання механічних травм в процесі випробування на механічні властивості передбачено виконання інструкцій з техніки безпеки, які стосуються конкретно дослідницького обладнання.

Для запобігання механічних травм в процесі механічних випробувань передбачено триступеневу систему захисту:

- для запобігання зриву зразка внаслідок перекосів або зношування захватів передбачені центруючи та вирівнюючі втулки;

- для виключення похибок при випробуванні, інсталяція має електронну систему управління та гідравлічний привод, що дає змогу програмувати режим випробування та не допускати максимальне навантаження на конструкцію інсталяції, що може призвести до руйнування та аварійної ситуації.

- усі електричні кабелі екрановані спеціальними кожухами, що дає можливість уникнути ураження електричним струмом.

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

д) Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці для приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, офісу, тощо) обладнаного ПК з ВДТ розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МІОУ 06.05.2014 р. за № 472/25249, ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» і НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

За характером трудової діяльності виділено три професійні групи, згідно з ДК 003:2010 «Національний класифікатор України. Класифікатор професій»: група А - робота зі зчитування інформації з екрана з попереднім запитом; група Б - робота з введення інформації; група В - творча робота в режимі діалогу із ПК.

Перша категорія тяжкості й напруженості роботи на ПК визначається за рівнем навантаження за робочу зміну: для групи А - по сумарному числу зчитувальних знаків (до 20000), для групи Б - по сумарному числу зчитувальних або знаків, що вводяться (до 15000); для групи В - за сумарним часом безпосередньої роботи на ПК (до 2,0 год). При 8-годинній робочій зміні й роботі на ПК регламентовані перерви варто встановлювати через 2 години від початку зміни й через 2 години після обідньої перерви тривалістю 15 хвилин кожна. При 12-годинній робочій зміні регламентовані перерви повинні встановлюватися в перші 8 годин роботи аналогічно перервам при 8-годинній робочій зміні, а протягом останніх 4 годин роботи, незалежно від категорії й виду робіт, щогодини тривалістю 15 хвилин. Тривалість безперервної роботи на ПК без регламентованої перерви не повинна перевищувати 2 години. Регламентовані перерви й мікропаузи доцільно використовувати для виконання комплексу вправ і гімнастики для очей, пальців рук, а також масажу, які наведені у Державних санітарних правилах і нормах роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

Всі професійні користувачі ПК повинні проходити обов'язкові попередні медичні огляди при надходженні на роботу, періодичні медичні огляди з обов'язковою участю терапевта, невропатолога й окуліста, а також проведенням загального аналізу крові й ЕКГ [20].

е) Для забезпечення задовільних параметрів повітряного середовища робочого простору (температура, вологість, швидкість переміщення

повітряних мас) обов'язковими є природна вентиляція, загально обмінна штучна вентиляція, та кондиціювання приміщення згідно ГОСТ 2.2.137-96 «Оборудование для кондиционирования воздуха и вентиляции. Общие требования безопасности», СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование», ГОСТ 30646-99 «Кондиционеры центральные общего назначения. Общие технические условия», ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

Провести розрахунок надходжень теплоти від сонячної радіації через світлопрозорі огороження, штучного освітлення та виділення теплоти людьми. Обґрунтувати вибір найбільш економічного кондиціонера та розрахувати час охолодження приміщення за його допомогою.

Визначити надходження теплоти в приміщення о 10 год (до полудня). Орієнтування будівлі на північний-захід. Площа приміщення складає - 30 м², висота - 5 м. Площа тіні - 0,3 м², площа скління – 2,0 м². Вікна без сонцезахисних пристроїв. Атмосфера району – незабруднена (чисте скло). Кількість робочих місць 5: кількість чоловіків – 3, кількість жінок – 2. Освітлення здійснюється за допомогою люмінесцентних ламп, загальна потужність яких в приміщенні складає 1,5 кВт.

Розв'язання:

Визначаємо значення розсіяної сонячної радіації о 10 год, що надходить до приміщення, розташованого в м. Запоріжжі (47°49' півн. ш.) за СНиП 23-01-99 «Строительная климатология»: $q_{в.р.} = 54$ ккал/(год·м²).

1) Для світлового прорізу, який знаходиться в тіні або при затіненні світлового прорізу зовнішніми сонцезахисними конструкціями (відкосами пройому) кількість теплоти розраховується:

$$q_1 = q_{в.р.} \times K_1 \times K_2 = 54 \times 0,9 \times 1 = 48,6 \text{ ккал/(год} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$

K_1 - коефіцієнт, який враховує затінення скелення світлових прорізів перепахотами та забруднення атмосфери = 0,9;

K_2 - коефіцієнт, який враховує забруднення скла = 1.

2) Загальна кількість теплоти, яка надходить до приміщення через віконний проріз:

$$Q_{\text{с.пр.}} = q_1 \times F_p \times K_{\text{відн}} = 48,6 \times 0,3 \times 0,85 = 12,393 \text{ ккал/год}$$

F_p - площа заповнення світлового прорізу, яка опромінюється розсіяною сонячною радіацією = 0,3 м²;

$K_{\text{відн}}$ - коефіцієнт відносного проникнення сонячної радіації через заповнення світлового прорізу = 0,85.

3) Загально прийнято, що частина енергії, яка витрачається на освітлення, переходить в теплоту, яка нагріває повітря приміщення.

Виділення теплоти від штучного освітлення:

$$Q_{\text{осв.}} = 860 \times n \times N_{\text{осв.}} = 860 \times 0,5 \times 1,5 = 645 \text{ ккал/год}$$

n - коефіцієнт переходу електричної енергії в теплову; для люмінісцентних ламп = 0,5;

$N_{\text{осв.}}$ - сумарна потужність джерел освітлення = 1,5 кВт.

4) Виділення теплоти та вологи людьми залежить від кількості енергії, яку вони витрачають при роботі, та температури повітря в приміщенні. Жінки виділяють в середньому 85%, а діти – 75% від тепла, яке виділяють чоловіки. Кількість теплоти яку виділяють чоловіки, при температурі повітря в приміщенні 25°C = 55 ккал/год . Отже:

$$Q_{\text{л}} = 55 \times 3 + 55 \times 2 \times 0,85 = 259 \text{ ккал/год}$$

5) Загальна кількість теплоти в розрахункову годину, яку необхідно відвести за допомогою кондиціонування, визначається сумою теплоти джерел тепло надходження і визначається за формулою:

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{с.пр.}} + Q_{\text{осв.}} + Q_{\text{л}} = 12,39 + 645 + 259 = 916,39 \text{ ккал/год}$$

б) Вибір кондиціонера здійснюється в першу чергу за його розрахунковою потужністю та розмірами приміщення. Рекомендований діапазон потужності кондиціонера має максимально наближатися до розрахованого значення загальних теплонадходжень в приміщення.

Висновок: Оскільки площа приміщення складає 30 м^2 , то найбільш доцільним є використання кондиціонера типу HITACHI RAS-10JH4 з холодопродуктивністю 1150 ккал/год. Знаходимо час, необхідний для охолодження приміщення за допомогою цього кондиціонера:

$$\tau = C \times \gamma \times V \times (t_{\text{вид}} - t_{\text{норм}}) / 3600 \times 1,163 \times Q_{\text{конд}}$$

$$\tau = 1000 \times 1,2 \times 150 \times (25 - 22) / 3600 \times 1,163 \times 916,39 = 0,15 \text{ год}$$

C - масова теплоємність припливного повітря = $1000 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;

γ - густина припливного повітря = $1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$;

V - об'єм приміщення = $S \cdot h = 150 \text{ м}^3$;

$t_{\text{вид}}$ - температура повітря, що видаляється з приміщення = $25 ^\circ\text{C}$;

$t_{\text{норм}}$ - нормована (оптимальна) температура в приміщенні, яку необхідно досягти шляхом кондиціонування = 22°C).

$$Q_{\text{конд}} = (-5 \dots +15) \% Q_{\text{заг}}$$

є) Вибір системи освітлення залежить від зорових робіт і визначається за Державними будівельними нормами України ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення», ГОСТ 12.2.007.13-2000 ССБТ «Лампы электрические. Требования безопасности», ГОСТ МЭК 60598-2-2-2002 «Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 2. Светильники встраиваемые».

При цьому враховується вимога, що при виконанні в приміщеннях робіт I-III, IVa, IVб, IVв, Va розрядів слід застосовувати систему комбінованого освітлення. Використання системи загального освітлення

передбачено при технічній неможливості або недоцільності влаштування місцевого освітлення при узгодженні з органами державного санітарного нагляду. При комбінованому освітленні доля загального повинна складати не менше 10%.

5.4 Заходи з пожежної безпеки

ж) Для забезпечення пожежної безпеки в приміщенні лабораторного типу передбачено використання первинних засобів пожежогасіння, до яких відносяться вогнегасники різного призначення та системи автоматичного пожежосповіщення та пожежогасіння.

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

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

Відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», передбачити шляхи евакуації працівників на випадок пожежі (переходи, евакуаційні виходи). Указати максимальне

видалення від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу згідно п. 2.29 (табл. 2) СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания».

Показати відповідність обладнання, силових і освітлювальних мереж об'єкту (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, офісу, дільниці, підстанції, цеху, тощо), вимогам пожежної безпеки, згідно вимог НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок».

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

- автоматичних сигналізаторів про пожежу;
- системи пожежної сигналізації;

З огляду на пожежну небезпеку виробництва, передбачити систему пожежного водопостачання або автоматичного пожежогасіння та первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники різних видів) відповідно до вимог «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», затверджених наказом МВСУ 15.01.2018 № 25 та зареєстрованих в МЮУ 23.02.2018 р. за № 225/31677.

Виходячи з аналізу речовин та матеріалів, які використовуються при роботі у дослідницькій лабораторії обладнаному ПК з ВДТ:

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

- відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», воно належить до категорії «Д» з пожежної небезпеки – простір у приміщенні, у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали, тому відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016

«Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» воно має II ступінь вогнестійкості.

В дослідницької лабораторії встановлена система пожежної й охоронної сигналізації «Сигнал-ВК6», яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика.

Вибір типу та визначення необхідної кількості вогнегасників виконується згідно з залежністю від протипожежної здатності вогнегасників обмежувальної площі дії, класу пожежі в захисному приміщенні.

5.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

з) Найбільшу небезпеку для життєдіяльності виробничого персоналу представляють аварії технічних систем. Причинами аварій можуть бути стихійні лиха, порушення режимів технологічних процесів (недотримання технологічної дисципліни) або правил експлуатації виробничого, енергетичного, транспортного та ін. обладнання, а також правил техніки безпеки.

З особливостей небезпечних аварій слідує: захисні заходи і, перш за все, прогнозування, виявлення і періодичний контроль за змінами обстановки, оповіщення персоналу підприємства повинні проводитися з надзвичайно високою оперативністю.

Згідно з Кодексом цивільного захисту України забезпечення захисту населення і територій від НС покладено на Єдину державну систему цивільного захисту (ЄДСЦЗ), яка є сукупністю суб'єктів забезпечення цивільного захисту (ЦЗ), котрі здійснюють реалізацію державної політики у сфері цивільного захисту.

Суб'єктами забезпечення цивільного захисту в межах своїх повноважень є:

- Рада національної безпеки і оборони України;
- Кабінет Міністрів України;
- центральний орган виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту (нині це Державна служба України з надзвичайних ситуацій – ДСНС);
- інші центральні органи виконавчої влади;
- місцеві державні адміністрації;
- органи місцевого самоврядування;
- суб'єкти господарювання;
- громадяни України.

Загальне керівництво ЄДСЦЗ здійснює Кабінет Міністрів України. Безпосереднє керівництво діяльністю ЄДСЦЗ покладається на спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади з питань цивільного захисту (ДСНС). Діяльність ДСНС спрямовується і координується Кабінетом Міністрів України через Міністра оборони України.

ЄДСЦЗ базується на функціональних та територіальних підсистемах цивільного захисту та їх ланках, підпорядкованих ДСНС. Кожна підсистема має координуючі органи, постійні органи управління, сили та засоби, матеріальні ресурси, системи оповіщення тощо.

Таким чином, в Україні реалізований територіально-виробничий принцип цивільного захисту: у кожній територіальній одиниці відповідно до адміністративно-територіального поділу країни (область, район, місто, селище) є свій територіальний підрозділ ЦЗ. Паралельно в усіх сферах життєдіяльності населення, на кожному виробництві (підприємстві, установі, організації) функціонує відповідний виробничий підрозділ ЦЗ.

Режим функціонування єдиної системи цивільного захисту у межах конкретної території встановлюється залежно від існуючої або прогнозованої

обстановки, масштабу надзвичайної ситуації за рішенням відповідно Кабінету Міністрів України.

Режим повсякденного функціонування єдиної системи цивільного захисту встановлюється за умов нормальної виробничо-промислової, радіаційної, хімічної, біологічної (в тому числі бактеріологічної), сейсмічної, гідрогеологічної та гідрометеорологічної обстановки, за відсутності епідемій.

Режим підвищеної готовності єдиної системи цивільного захисту встановлюється в разі істотного погіршення виробничо-промислової, радіаційної, хімічної, біологічної (у тому числі бактеріологічної), сейсмічної, гідрогеологічної та гідрометеорологічної обстановки, за наявності загрози виникнення надзвичайної ситуації.

Режим надзвичайної ситуації єдиної системи цивільного захисту встановлюється в разі виникнення та під час ліквідації наслідків надзвичайної ситуації.

ВИСНОВКИ

1. Розглянуті умови експлуатації компресора взагалі та його компонентів, зокрема ущільнювального кільця, зазначено, що в процесі роботи деталь зазнає значних напружень та дії підвищених температур, що зумовлює потребу аналізуванні та вдосконаленні властивостей деталі. Зазначені перспективи використання хіміко-термічної обробки та зокрема азотування

2. Відзначено, що кільце ущільнююче виготовлено зі сталі 13X11H2B2MФ Ш(ЭИ 961 Ш) та зміцнюється гартуванням та відпусканням із подальшим азотуванням.

3. Після проведених досліджень виявлена корозія поверхневого азотованого шару сталі 13X11H2B2MФ-Ш(ЭИ-961 Ш), що знижує експлуатаційні властивості ущільнюючого кільця компресора низького тиску двигуна ТВЗ-117. Такий дефект є невиправним, тому суттєво впливає на вартість виробництва.

4. Встановлено причини виникнення корозії в поверхневому азотованому шарі сталі 13X11H2B2MФ-Ш (ЭИ-961 Ш), це викликано недосконалістю процесу термообробки.

5. Приведені рекомендації по усуненню подальшого виникнення такого виду невиправного дефекту.

6. Проведені розрахунки економічного ефекту і очікуваний економічний ефект від впровадження науково-дослідницької роботи становить 120230 грн/т при витратах на дослідження 130860 грн.

7. Розглянуті питання з охорони праці.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гецов Л. Б. Детали газовых турбин: Материалы и прочность. Л. : Машиностроение, 1982. – 296 с.
2. Масленников Н.М., Шальман Ю.Н. Авиационные газотурбинные двигатели. М.: Машиностроение, 1975.-576 с.
3. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки компрессора и вентилятора. Часть I. Монография. Запорожье, изд. ОАО «Мотор Сич», 2003. -396 с.
4. Пчелкин Ю.М. Камеры сгорания газотурбинных двигателей. М.: Машиностроение, 1984.-280 с
5. А.А. Иноземцев, М.А. Нихамкин, В.Л. Сандрацкий Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок М. «Машиностроение», 2007. - 208 с., илл.
6. Газотурбинные установки / А.В. Рудаченко, Н.В Чухарева, Издательство Томского политехнического университета, 2008. 139с.
7. Абианц В.Х. Теория авиационных газовых турбин. М.: Машиностроение, 1979
8. Смирнов Н.Н. Техническая эксплуатация летательных аппаратов: М.: Транспорт, 1990.423 с
9. Ловинский С.И Теория авиационных двигателей М:Машиностроение, 1982 223 с.
10. Скубачевский Г. С. Авиационные газотурбинные двигатели. Рипол Классик, 2013.
11. Солнцев С. С. Защитные покрытия металлов при нагреве: справочное пособие. Изд. 2-е, доп. Либроком, 2009. 248 с.
12. Шатинский В.Ф. Защитные диффузионные покрытия. Киев : Наукова думка, 1988. 272 с.

13. Лахтин Ю. М. Химико-термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1985. 256 с
14. Попов А. А. Теоретические основы химико-термической обработки стали. М. : Металлургиздат, 1962. 120 с.
15. Борисенок Г.В. Химико-термическая обработка металлов и сплавов М.: Металлургия, 1981. 424 с
16. Кришталл М. А. Механизм диффузии в железных сплавах. М. : Металлургия, 1972. 400 с.
17. Кришталл М.А. Многокомпонентная диффузия в металах. М. : Металлургия, 1985. 176 с
18. Гуров К. П. Взаимная диффузия в многофазных металлических системах. М. : Наука, 1981. 352 с.
19. Лобанов М.Л. Защитные покрытия. Екатеринбург: Изд-во Урал.ун-та, 2014. 200с.
20. Лахтин Ю.М., Теория и технология азотирования: Монография. М.: Металлургия, 1991. 320 с
21. Zintchenko, v. M., et al. *Nitrogen potential: current status of knowlegde*. 2003.
22. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д. Азотирование стали. М.: Машиностроение, 1976. 256 с.
23. Петрова, Л. Г. Высокотемпературное азотирование жаропрочных сплавов. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2004. С 18-24.
24. Лахтин, Ю. М. Внутреннее азотирование металлов и сплавов. *Металловедение и термообработка металлов*, 1974, 3: 20-28.
25. Арзамасов Б.Н., Братухин А.Г. Ионная химико-термическая обработка сплавов: Монография. М.: Изд. МГТУ им Баумана, 1999. 400 с
26. Практическая растровая электронная микроскопия. под ред. Дж. Гоулдстейна и Х. Яковица. М.: Мир, 1978. 655 с.

27. Герасимов С.А, Куксенова Л.И., Структура и износостойкость азотированных конструкционных сталей и сплавов. 2012.
28. Крукович М. Г., Моделирование процесса азотирования. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2004, 1: 24-31.
29. Александров В. А. Комбинированный технологический способ ХТО для поверхностного упрочнения сталей. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2010, 5: 27-31.
30. Петрова, Л. Г., Александров, В. А. Формирование композиционных наноструктурных покрытий на стальных деталях методами химико-термической обработки. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*, 2010, 51, 58-62.
31. Александров В. А., Грачев А. В., Барабанов С. И. Сокращение длительности процесса азотирования коррозионно-стойких сталей. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2011, 7: 37-39.
32. Сігова, В. І., Хижняк, В. Г., Курило, Н. А., Сігова, В. І., Хижняк, В. Г. (2007). Азототитанування конструкційних та інструментальних сталей.
33. Петрова Л.Г, Александров В.А, Поверхностное упрочнение сталей методами химико-термической обработки в многокомпонентных средах. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2012, 6: 17-21.
34. Жуков А. А., Щапова Л. А. Статистический анализ влияния химического состава сталей на показатели качества азотированного слоя. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2007, 1: 48-53.
35. Чудина О. В., Брежнев А. А. Комбинированное поверхностное упрочнение углеродистых сталей методами химико-термической обработки. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*, 2010, 51.
36. Петрова Л. Г., Александров В. А., Зюзин Д. М. Регулируемые процессы азотирования коррозионностойких сталей. *Вестник Московского автомобильно-дорожного института (государственного технического университета)*, 2003, 1: 20-26.

37. Куксенова Л. И.; Лаптева В. Г.; Мичугина М. С. Оценка трибологической эффективности азотированных слоев конструкционных сталей. *Наука и образование: научное издание МГТУ им. НЭ Баумана*, 2008, 4-1: 6-6.

38. Лякишев Н. П. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник. М.: Машиностроение, 1997, 2: 1024.

39. Коган Я. Д. Научно-исследовательские работы школы ЮМ Лахтина в развитии современных технологий поверхностного упрочнения деталей машин и инструмента. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2010, 5: 5-14.

40. Криони Н. К.; Мингажева А. А.; Кононова А. Ю. Азотирование деталей из легированных сталей при высокоэнергетической обработке поверхности. *Пром-Инжиниринг*. 2015. 122-126.

41. Бенгина Т. А. Постановка задачи оптимизации процесса газового азотирования. *Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки*, 2007, 1: 149-152.

42. Шевчук А. М.; Негров Д. А.; Путинцев В. Ю. Влияние азотирования на структуру и свойства сталей. *Техника и технологии машиностроения*. 2016. 421-425.

43. Бибииков П.С. , Оптимизация технологии азотирования стали 03X11H10M2T-ВД. *Молодежь и наука: шаг к успеху*. 2017. р. 162-165.

44. Агафонов С. В., Азотирование размерновосстановленных распределительных дисков аксиально-поршневых насосов (гидромоторов) в электростатическом поле. *Труды ГОСНИТИ*, 2011, 107.2: 127-130.

45. Богачев И.И. Климов В.Н., Анализ современных методов увеличения глубины азотированного слоя в сталях. *Вестник МГТУ Станкин*, 2016, 2: 57-61.

46. Буравлев Ю. М., Бархум А., Аль-Араж Б., Кушнир М. П., Особенности формирования поверхностных слоев сталей после их газовой химико-физической обработки 2014.

47. Маленко П. И. Анализ высокопрочных химико-термических покрытий, получаемых при азотировании. *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 4 (2009): 27-30.

48. Кочарян Е. В. Влияние химико-термической обработки на износостойкость электролитических осталенных покрытий. *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*, 2012, 78.5: 34-36.

49. Петрова Л. Г. Становление и развитие научной школы ЮМ Лахтина. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2010, 5: 15-26.

50. Бибииков П. С., Пичхидзе С. Я; Бибииков С. П.. Определение влияния технологических параметров азотирования на степень диссоциации аммиака. *Металлообрабатывающие комплексы и робототехнические системы-перспективные направления научно-исследовательской деятельности молодых ученых и специалистов*. 2016., 54-56.

51. Хижняк В. Г., Зносо-та корозійна стійкість нержавіючих азотованих сталей. Проблеми тертя та зношування, 50.

52. Криони Н. К. Мингажева А. А.; Мусин Ф. Ф. Формирование азотированного слоя при высокоэнергетической активации поверхности деталей. *Сетевое издание «Нефтегазовое дело»*, 2014, 5, 294-312.

53. Практическая растровая электронная микроскопия. [под ред. Дж. Гоулдстейна и Х. Яковица, М.: Мир, 1978. 655 с.

54. ТУ 14-1-3297-82 Прутки и полосы горячекатаные, кованые и калиброванные из коррозионностойкой стали марок 13X11H2B2MФ-Ш (ЭИ961-Ш), 13X14H3B2ФР-Ш (ЭИ736-Ш) и 18X15H3М-Ш (ДИ1-Ш)

55. ГОСТ 5632-72 Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные

56. Горелик С.С., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электронно-оптический анализ.:Металлургия, 1979, 366с.

57. Арустамов Э.А. Охрана труда: Справочник. 2008. 588 с.

58. Леонова А.Б. Психология труда и организационная психология: современное состояние и перспективы развития. М.: Радикс, 1995. – 448 с.
59. Березуцький В.В. Основи охорони праці: 2-ге вид., перероб. і доп. Х.: Факт, 2007. 480 с
60. СТП 15-96 Пояснювальні записки до курсових та дипломних проектів (робіт). Запоріжжя: ЗДТУ, 1996. 36 с.

Додаток А

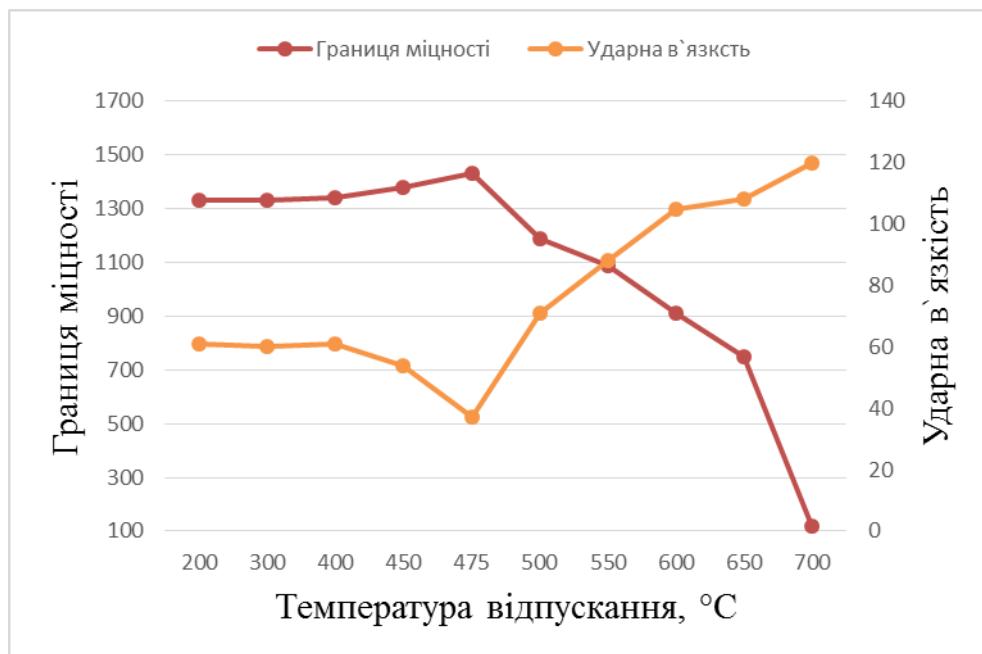
ХІМІЧНИЙ СКЛАД СТАЛІ 13Х11Н2В2МФШ (ЭИ961Ш) ГОСТ 5949 -
75, %

C	Cr	Mo	V	Ni	W	Si	S	P	Mn
0.1- 0.16	10.5- 12	0.35- 0.5	0.18- 0.3	1.5- 1.8	1.6-2	≥0.6	≥0.03	≥0.03	≥0.6

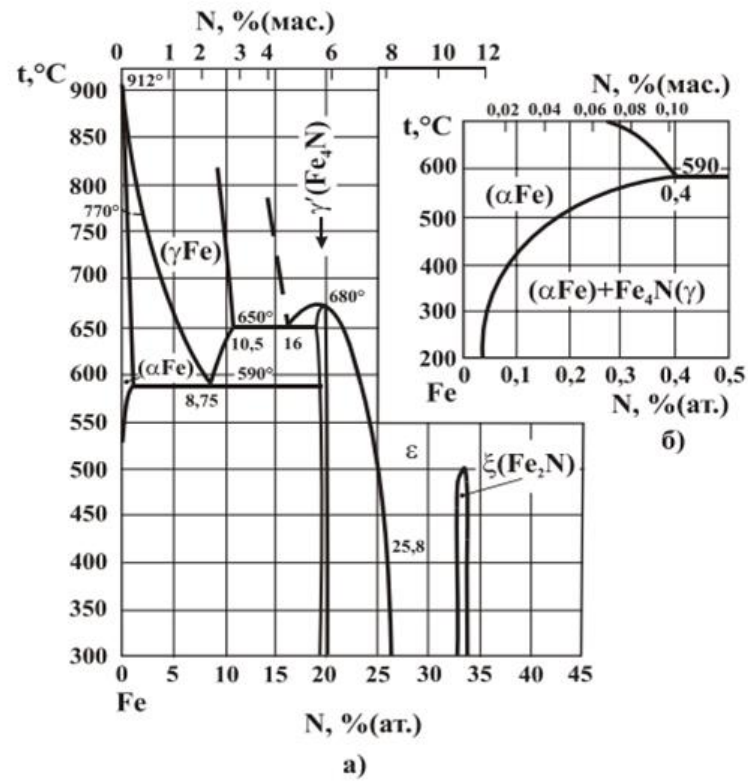
МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ 13Х11Н2В2МФШ (ЭИ961Ш)

$\sigma_{0.2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	ψ , %	КСУ кДж/см ²
735	880	15	55	88

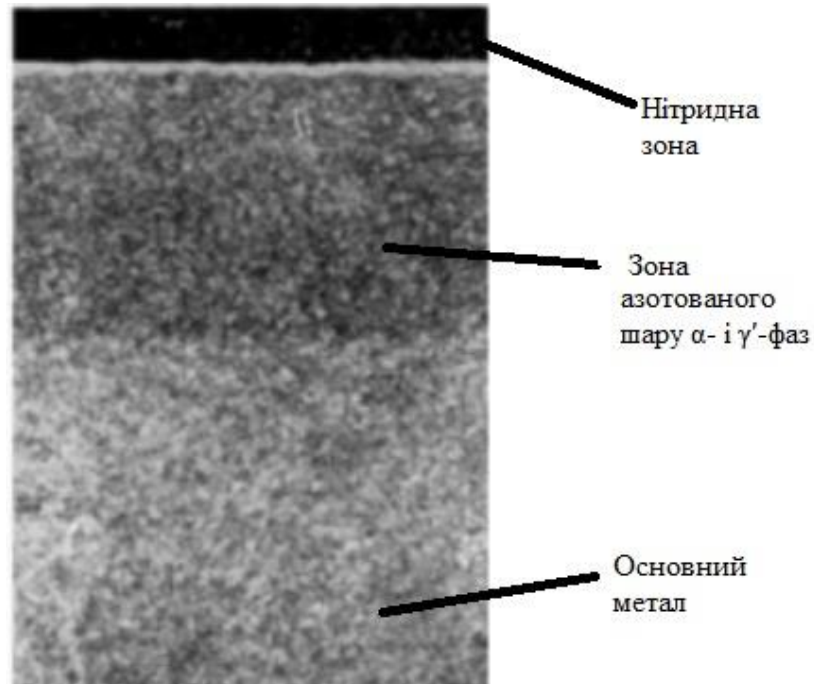
ЗАЛЕЖНІСТЬ ГРАНИЦІ МІЦНОСТІ ТА УДАРНОЇ В'ЯЗКОСТІ ВІД
ТЕМПЕРАТУРИ ВІДПУСКАННЯ



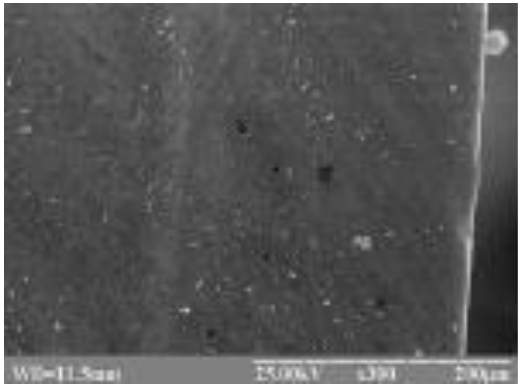
МЕТАСТАБІЛЬНА ДІАГРАМА СТАНУ Fe-N (а) ТА ОБЛАСТЬ РОЗЧИННОСТІ АЗОТУ У ФЕРИТІ (б)



МІКРОСТРУКТУРА АЗОТОВАНОГО ШАРУ



МІКРОСТРУКТУРА АЗОТОВАНОГО ШАРУ ПІСЛЯ ТЕРМІЧНОГО
ОБРОБЛЕННЯ



МІКРОСТРУКТУРА СТАЛІ ПІСЛЯ ГАРТУВАННЯ



ПОРІВНЯННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ СТАЛІ 13Х11Н2В2МФ Ш ЭИ 961 Ш)
ЗГІДНО ГОСТ 5632-72 ІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМИ ЗНАЧЕННЯМИ

	C	Cr	Mo	V	Ni	W	Si	S	P	Mn
ГОСТ 5632-72	0.1- 0.16	10.5- 12	0.35- 0.5	0.18- 0.3	1.5- 1.8	1.6- 2	≥0.6	≥0.03	≥0.03	≥0.6
Експериментальний результат	0,1	11,7	0,42	0,27	1,62	1,78	0,5	-	-	0,54