

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Фізико-технічний, Інженерно-фізичний факультет
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра фізичного матеріалознавства
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістра

(ступінь вищої освіти)

на тему Дослідження особливостей структури та
властивостей дифузії титанових іонів для деталей ГТД

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи 14-214

Спеціальності 132 „Матеріалознавство“
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

„Прикладне матеріалознавство“
Золаров М.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник Кимов О.В.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Звохненко С.І.
(прізвище та ініціали)

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

Інститут, факультет Фізико-матеріальний інститут, інженерно-фізичний факультет
Кафедра фізичного матеріалознавства
Ступінь вищої освіти Магістр
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) «Фізика та матеріалознавство»
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Клименко О.В.
« 16 » 12 20 19 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Заласкова Микити Сергійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження впливу структури на властивості деформованих титанових сплавів для деталей ГТД

керівник проекту (роботи) Клинов Олександр Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « » 20 року №

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 10.12.2019

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Ескізи деталей конструкційної системи ГТД вказують, що до властивостей матеріалів деталей, дані про які містяться в доповіді, впливають титанові сплави, що призначені для роботи в умовах підвищених температур. Навантаження при цьому будуть періодичного характеру.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналітичний опис; 2. Матеріали і методи дослідження; 3. Аналіз результатів дослідження; 4. Оцінка впливу на безпеку у напружено-деформованій ситуації; 5. Економічна оцінка

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

1. Хімічний склад та механічні властивості титанових сплавів; 2. Механічні властивості на загибленні короткого отвору від температури сплавів; 3. Дослідження впливу різних факторів на властивості ВТР; 4. Вплив різних факторів на структуру сплаву ВТР; 5. Деформація на сплав та в. в. сплаву ВТР; 6. Оцінка. СМК струк. Методом FEM; 7. В. в. сплаву ВТР

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	Кішлов О.В.		
2	Кішлов О.В.		
3	Кішлов О.В.		
Огляд праці	Костерів О.В. доцент,		
Законспекти	Кришківська В.В. доцент, к.т.н.	10.09.19	12.12.19
Норм. конст.	Тимощук Р.В.		

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Аналітичний огляд	14.10.19	
2.	Матеріали і методика дослідження	23.10.19	
3.	Аналіз проведення дослідження	24.11.19	
4.	Огляд праці та безпека в науково-технічній ситуації	20.12.19	
5.	Законспекти роботи	10.12.19	

Студент(ка)


(підпис)

Заларов М.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

Кішлов О.В.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 86 с., 17 рис., 11 табл., 20 джерел, ГЧ

Об'єкт дослідження – двофазні титанові сплави

Мета дослідження – визначення особливостей структури та властивостей двофазних титанових сплавів в ГТД.

Робота складається з п'яти розділів. У першому розділі проведено аналітичний огляд, який дає уявлення про актуальні тенденції розвитку двофазних титанових сплавів, вимоги які висуваються до них та способи підвищення механічних властивостей. У другому розділі приведені матеріали, які були розглянуті в роботі, технологія отримання лопаток ГТД та методика дослідження причин руйнування деталей з ГТД. У третьому розділі була проведена обробка результатів попередніх досліджень, проаналізована типова термічна обробка та проаналізовано вплив деформації та СМК структури на механічні властивості титанових сплавів. У четвертому розділі показан економічний ефект від використання сплаву ВТ8 в порівнянні з ВТ3-1 для лопаток ГТД. П'ятий розділ демонструє основні положення з охорони праці на підприємстві.

ТИТАН, ЛЕГУВАННЯ, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, ЛОПАТКА,
МЕТОДИКА, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, ІНТЕНСИВНА ПЛАСТИЧНА
ДЕФОРМАЦІЯ, СУБМІКРОКРИСТАЛІЧНА СТРУКТУРА, ГВИНТОВА
ЕКСТРУЗІЯ

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Аналітичний огляд	9
1.1 Наукові досягнення у області двофазних титанових сплавів.	9
1.2 Вимоги до двофазних титанових сплавів.....	12
1.3 Легування титанових сплавів	13
1.4 Комплексне легування титанових сплавів	17
1.5 Підвищення міцності титанових сплавів наклепом при холодному деформуванні.....	21
1.6 Особливості СМК структури у двофазних титанових сплавах	23
2 Матеріали і методики дослідження.....	27
2.1 Характеристика двофазних титанових сплавів.....	27
2.2 Технологія отримання лопаток методом ІПД за допомогою гвинтової екструзії	29
2.3 Методика дослідження спрямована на причини руйнування деталей з двофазних титанових сплавів.	33
3 Аналіз проведених досліджень.....	35
3.1 Результати дослідження причин руйнування деталей ГТД.....	35
3.2 Термічна обробка титанових сплавів	38
3.3 Вплив деформації на стурктуру та властивості титанових сплавів.....	41
3.4 Результати дослідження використання метода гвинтової екструзії для сплава ВТ8	45
3.5 Отримання СМК структури за допомогою інтенсивної пластичної деформації	47
4 Економічна частина.....	51
4.1 Тенденції розвитку світового ринку технологій	51
4.2 Техніко-економічні розрахунки	52
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	62
5.1 Аналіз потенційних небезпек	62
5.2 Заходи щодо забезпечення безпеки.....	63
5.3 Заходи щодо виробничої санітарії та гігієни праці	68

5.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях	73
5.4.1 Заходи з пожежної безпеки	73
5.4.2 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях	76
Висновки	78
Перелік посилань	79
Додаток А	81

ВСТУП

Стратегічним напрямком розвитку авіаційного двигунобудування є розробка та серійне виробництво газотурбінних двигунів (ГТД) нового покоління, з підвищеним ресурсом, надійністю, тягоозброєністю та економічністю. Підвищення експлуатаційних характеристик авіаційних ГТД та забезпечення потрібних цінових параметрів виробу неможливо без використання нових перспективних матеріалів, нестандартних конструкторських та технологічних рішень, прогресивного промислового обладнання.

Одними з найбільш відповідальних та навантажених деталей ГТД є деталі роторної частини компресора, за якими, в тому числі, визначається загальний ресурс двигуна. Продовження ресурсу двигуна безпосередньо пов'язано з можливістю ремонту основних вузлів і деталей. Деякі деталі, наприклад, барабани компресора мають зварну конструкцію. Для виготовлення відповідальних роторних деталей компресора використовують складнолеговані двофазні титанові сплави ВТ8, ВТ9, ВТ3-1 та ін. Однак відомо, що двофазні титанові сплави є обмежено зварюваними. Вплив термічного циклу розповсюджених методів зварювання плавленням, таких як аргонодугове (АДЗ) та електронно-променеве (ЕПЗ) зварювання, призводить до значних структурних змін та зниження механічних властивостей зварних з'єднань.

Забезпечення надійної роботи деталей упродовж ресурсу потребує підвищення запасу міцності зварних з'єднань. Як показує світовий досвід (А. Mateo, Т. Ma, L. Hong, М. Avinash, М. Corzo), підвищення механічних властивостей можливо досягти за рахунок отримання структури в зоні зварного шва та зоні термічного впливу (ЗТВ) з мінімальною різницею по відношенню до основного металу (ОМ).

В даний час у зв'язку із застосуванням високолегованих титанових сплавів впровадження операцій термічної обробки стає невід'ємною завданням. Однак слід врахувати той факт, що з підвищенням межі міцності при термічній обробці, характеристики пластичності титанових сплавів знижуються; вони набувають підвищену чутливість до концентраторів напруг, внаслідок їх експлуатаційні характеристики погіршуються. СМК структура дозволяє отримати одночасно гарні показники як пластичності так і міцності, що і є метою данного дослідження.

У роботі були розглянуті двофазні титанові сплави ВТЗ-1 та ВТ8. Досліджено особливості зв'язку механічних властивостей зі структурою; вивчення законів впливу фазових і структурних складових в титанових сплавах різного ступеня легування, вплив термічної обробки на стабільність структури та властивостей. Відповідно до мети були визначені задачі роботи:

- Дослідити формування структури у залежності від термічної обробки та складу легованих елементів.
- Визначити роль та вплив фазових і структурних перетворень у двофазних титанових сплавах.
- Проаналізувати структуру титанових та визначити переваги, недоліки та шляхи вдосконалення механічних властивостей для забезпечення більшого ресурсу роботи.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Наукові досягнення у області двофазних титанових сплавів.

Основні наукові досягнення, що визначають рівень сучасного виробництва титанових сплавів, узагальнені в роботах провідних науковців: Ф.Х. Фроса, Б.О. Колачева, О.А. Ільїна, О.М. Івасишина, І.Л. Каплана, П.А. Бленкінсопа, І.В. Гориніна, М.Ф. Аношкіна, В.В. Тетюхіна, Б.Є. Патона, В.Н. Гриднева. Переважна більшість досліджень присвячена структуроутворенню матеріалу з метою забезпечення комплексу фізико-механічних та експлуатаційних властивостей і, як наслідок, конкуренто спроможності продукції [1].

Останні наукові досягнення, у області двофазних титанових сплавів:

- На підставі концепції необхідності забезпечення в литому стані рівного молібденового еквіваленту у різних ділянках зерна β -фази, що досягається комплексним легуванням титану β -стабілізаторами з коефіцієнтами розподілу більше та менше одиниці, і власних експериментальних даних про перерозподіл легуючих елементів проміж α - і β -фазами в процесі фазового перетворення, вибраний комплекс легування і встановлені межі легування, які забезпечують отримання високої міцності і зварюваності матеріалу. Як підсумок, на основі системи Ti-Al-Mo-V-Nb-Fe-Zr розроблений склад нового вітчизняного високоміцного титанового сплаву, що добре зварюється.

-При комплексному легуванні ізоморфними та евтектоїдоутворюючими елементами в процесі створення розробленого сплаву вперше запропоновано використовувати β -ізоморфні елементи, які мають високу розчинність в α -фазі.

- Встановлено, що додаткове легування ніобієм титанових сплавів системи Ti-Al-Mo-V-Fe у кількості 3-5 % значно поліпшує їх зварюваність,

зокрема підвищує ударну в'язкість зварних з'єднань, виконаних в широкому діапазоні термічних циклів зварювання.

- Встановлено, що для сплавів системи Ti-Al-Mo-V-Nb-Fe-Zr введення Al в кількостях 5-6 % сприяє рівномірному розподілу Nb та Fe між фазами, введення Fe в кількостях до 2 % підвищує розчинність Al в α - і β -фазах, а в кількостях ≥ 2 % знижує розчинність Nb у фазових складових.

- Показано, що легування титану Nb і Mo в системі Ti-Al-Mo-V-Nb-Fe супроводжується підвищенням розчинності евтектоїдоутворюючого β -стабілізатора Fe в α -фазі, що сприяє зменшенню градієнту міцності фаз.

- Встановлено вплив режимів термомеханічної обробки на структуру та фазовий склад сплаву, а також його механічні властивості. Визначені режими відпалу, що забезпечують отримання властивостей на рівні $\sigma_B \geq 1100$ МПа, $\delta \geq 10$ %, $\psi \geq 35$ %, $KCU \geq 40$ Дж/см², а також термічного зміцнення, що забезпечує отримання пластичності $\delta = 15$ %, $\psi = 50$ %, $KCV = 21$ Дж/см², при рівні міцності $\sigma_B = 1330$ МПа.

- Встановлено закономірності формування структури при зварюванні тертям в зварних швах сплаву ВТ8 з різними вихідними типами структур. Доведено, що в зварних швах з вихідною рівновісною структурою зберігається тип структури за умов виконання зварювання при температурі не вище α - β перетворення. Встановлено, що при зварюванні тертям практично не змінюються розміри α - та β -фаз. Структурні зміни відбуваються в межах первинного β -зерна, що виражається в підвищенні мікротвердості в результаті утворення внутризеренної гартівної структури з α' - фазою та зміненням параметрів ґратки з $a = 0,29223$ нм та $c = 0,47447$ нм до зварювання на $a = 0,29233$ нм та $c = 0,47471$ нм після зварювання.

- Встановлені закономірності розподілення легувальних елементів в зварному шві сплаву ВТ8 при зварюванні тертям. Встановлено, що перерозподілення легувальних елементів відбувається внаслідок термомеханічного впливу в процесі зварювання тертям при температурі

початку α - β перетворення, але нижче кінця цього температурного інтервалу. В межах β -зерен йде перерозподілення легувальних елементів та зникає концентраційна неоднорідність легуючих елементів між α та β складовими β -зерна, котра по Al складала більше 2-х разів та по Мо досягала 7 разів. При цьому між рівновісними зернами α - та β -фаз дифузія елементів практично відсутня, що забезпечує збереження вихідної рівновісної структури.

- Запропоновано нове вирішення науково-технічної задачі підвищення зносотривкості високоміцних двофазних титанових сплавів BT6, BT22 та T110 шляхом забезпечення регламентованого приповерхневого і об'ємного зміцнення при суміщенні термічної та хіміко-термічної обробок в одному технологічному циклі.

- Встановлено кореляційні залежності між рівнем поверхневого зміцнення та текстурою поверхневого нітриду TiN_x азотованих високоміцних двофазних титанових сплавів. Показано, що вищі значення твердості сплавів BT6 та T110 (18,8...19,2 ГПа) порівняно зі сплавом BT22 (17...17,5 ГПа) забезпечуються завдяки переважаючій орієнтації TiN_x вздовж напрямку [111]., тоді як поверхнева твердість сплаву BT22 обумовлена текстурою TiN_x по площині (200).

- Встановлено кінетичні закономірності термодифузійного насичення азотом високоміцних двофазних титанових сплавів BT6, BT22 та T110 в діапазоні температур їх термічної обробки (800...900 оС), розраховано кінетичні параметри процесу азотування та показано, що інтенсивність взаємодії з азотом зменшується у ряду BT6 T110 BT22.

- Встановлено залежності фазового складу та структури приповерхневих шарів, твердості та глибини модифікованого шару двофазних титанових сплавів BT6, BT22 та T110 від концентраційних, температурних і часових параметрів азотування, суміщеного з термічною обробкою.

- Показано, що при зниженні парціального тиску азоту від атмосферного до 1...10 Па за менш інтенсивного нітридоутворення на поверхні сплавів зростає глибина дифузійного шару, а відтак, зменшується градієнт

властивостей у приповерхневому шарі, що позитивно відбивається на триботехнічних та механічних характеристиках азотованих сплавів [2].

1.2 Вимоги до двофазних титанових сплавів

Двофазні сплави на основі титану є одним з найважливіших конструкційних матеріалів і з кожним роком розширюються сфери їх застосування. Відповідальні сфери використання (аерокосмічна техніка, суднобудування, медицина і т.д.) вимагають поліпшення механічних і експлуатаційних властивостей титанових сплавів за рахунок оптимізації їх фазового і структурного стану методами термічного і термомеханічного впливу. Титанові сплави застосовують до температур 400 ... 600°C.

В даний час можна сформулювати цілий комплекс вимог до жароміцних титанових сплавів, принаймні для деталей авіаційних двигунів. Залежно від умов роботи звертається увага на ту чи іншу визначальне властивість, величина якого повинна бути максимальною, проте сплав повинен забезпечувати необхідний мінімум і інших властивостей, як зазначено нижче.

1. Високий короткочасна і тривала міцність у всьому інтервалі робочих температур. Мінімальні вимоги: межа міцності при кімнатній температурі 100 Па; короткочасна і 100-ч міцність при 400°C - 75 МПа. Максимальні вимоги: межа міцності при кімнатній температурі 120 Па, 100-ч міцність при 500°C – 65 МПа.

2. Задовільні пластичні властивості при кімнатній температурі: відносне подовження 10%, поперечне звуження 30%, ударна в'язкість 3 МПа • м. Ці вимоги можуть бути для деяких деталей і нижче, наприклад для лопаток напрямних апаратів, корпусів підшипників та деталей, не схильних до динамічним навантаженням.

3.Термічна стабільність. Сплав повинен зберігати свої пластичні властивості після тривалого впливу високих температур і напружень. Мінімальні вимоги: сплав не повинен окрихчується після 100-ч нагріву при будь-якій температурі в інтервалі 20 - 500°C. Максимальні вимоги: сплав не повинен окрихчується після впливу температур і напружень в умовах, заданих конструктором, протягом часу, відповідного максимальному заданому ресурсу роботи двигуна.

4.Високе опір втоми при кімнатній і високих температурах. Межа витривалості гладких зразків при кімнатній температурі повинен становити не менше 45% межі міцності, а при 400°C - не менше 50% межі міцності при відповідних температурах. Ця характеристика особливо важлива для деталей, схильних до вібрацій в процесі роботи, як, наприклад, лопатки компресорів.

5.Високе опір повзучості. Мінімальні вимоги: при температурі 400°C і напрузі 50МПа залишкова деформація за 100 ч не повинна перевищувати 0,2%. Максимальним вимогою можна вважати той же межа при температурі 500°C за 100год. Ця характеристика особливо важлива для деталей, що зазнають в процесі роботи значним розтягують напруженням, як, наприклад, диски компресорів [1].

1.3 Легування титанових сплавів

Легування титану дозволяє в 2-3 рази підвищити його міцність, іноді і корозійну стійкість. Основний легуючий елемент в промислових титанових сплавах - алюміній. На основі системи Ti-Al розроблено серію зварювальних титанових сплавів. Алюміній присутній майже у всіх сплавах на основі титану. Значення системи Ti-Al для титанових сплавів можна порівняти зі значенням системи Fe-C для сплавів на основі заліза.

Інші важливі легуючі добавки - ванадій і молібден. Високоміцні титанові сплави ґрунтується на потрійній системі Ti-Al-V, а жароміцні - на Ti-Al-Mo. Найбільш поширений сплав загального призначення, що містить 6% Al і 4% V (сплав 6-4), зіграв у розвитку титанової промисловості не меншу роль, ніж дюралюмін в металургії алюмінію. Відповідно до тенденцією багатокомпонентного легування багато сучасних титанові сплави містять одночасно алюміній, ванадій і молібден.

У промислових титанових сплавах в якості легуючих компонентів застосовуються також хром, марганець, залізо, мідь, олово, цирконій, вольфрам, рідше - ніобій і тантал, в деяких композиціях досвідчених сплавів - галій, сурма, вісмут, але широкого промислового застосування такі сплави поки не знайшли. Паладій і платину додають до чистого титану для підвищення його стійкості в сильних корозійних середовищах, зокрема, в мінеральних кислотах. З неметалів найбільше значення мають кремній, зазвичай вводиться для підвищення жароміцності, і бор, який надає модифікуючу дію, а також елементи, що утворюють тверді розчини типу впровадження - вуглець, кисень, азот, водень. Це шкідливі домішки, вміст їх повинно бути мінімальним. Кисень може розглядатися і як легуюча добавка, зміцнюючі дія якої необхідно враховувати при розрахунку шихти будь-якого титанового сплаву. Міцність технічного титану різних марок визначається саме вмістом домішки кисню і менше - іншими домішками [4].

У промислових умовах вміст домішок у вихідному титані враховується по їх сумарній дії на тимчасовий опір розриву, що дозволяє позбутися від хімічного аналізу на кожну домішка і пов'язаних з цим помилок через нерівномірний розподіл їх в титановій губці.

У зв'язку з останніми досягненнями в розробці технології надшвидкого затвердіння металевих розплавів в якості легуючих компонентів набувають зростаюче значення нові легуючі елементи, які раніше вважалися неперспективними через їхню малу розчинність в твердому стані. Для титану - це рідкоземельні елементи, за допомогою яких при новій технології можна

отримувати жароміцні титанові сплави з термічно стабільним дисперсійним зміцненням.

Існують три групи легуючих елементів, що роблять різний вплив на температуру поліморфного перетворення титану.

Перша Група (α -стабілізатори) - елементи, що підвищують температуру поліморфного перетворення титану. Це алюміній, галій та індій і неметали - вуглець, азот і кисень.

Друга група (β -стабілізатори) - елементи, що знижують температуру поліморфного перетворення титану. Їх можна розбити на три підгрупи. У сплавах титану з елементами першої підгрупи при досить низькій температурі відбувається евтектоїдний розпад β -фази: $\beta \rightarrow \alpha + \gamma$. До таких елементів відносяться хром, марганець, мідь, нікель, свинець, берилій, кобальт, які називають евтектоїдоутворюючим β -стабілізаторами.

У сплавах титану з елементами другої підгрупи при досить високій їх концентрації β -твердий розчин зберігається до кімнатної температури, зазнаючи евтектоїдного розпаду. Такі елементи називають ізоморфними β -стабілізаторами. Це ванадій, молібден, ніобій, тантал. Елементи третьої підгрупи (рутений, родій, рений, осмій, іридій) утворюють з титаном в багатій титаном області діаграму стану таку ж, як з ізоморфними β -стабілізаторами. При Досить великому змісті цих елементів β -фаза повністю стабілізується при кімнатній температурі і лише в області, порівняно бідній титаном, з'являються нові фази і пов'язані з ними нонваріантні рівноваги. Вольфрам утворює з β -титаном безперервні тверді розчини. Але при зниженні температури β -фаза відчуває монотектоїдне перетворення $\beta - \alpha + \beta$. Рівновага в цій системі при температурах нижче монотектоїдної точки схоже з фазовим рівновагою в системах титану з β -ізоморфними елементами: в обох випадках в рівновазі знаходяться α - і β -тверді розчини. Тому рутений, родій, рений, осмій, іридій, вольфрам відносяться в підгрупі псевдо β -ізоморфних стабілізаторів. Вплив цих елементів на фазовий склад загартованих титанових сплавів схоже з впливом ізоморфних β -стабілізаторів. Після гарту в сплав х цих елементів з

титаном при достатній їх концентрації мартенсит α замінюється мартенситом α'' , як це спостерігається в сплавах з β -ізоморфними стабілізаторами (ванадієм, молібденом, танталом, ніобієм) Третє група представлена легуючим елементами, мало впливають на температуру поліморфного перетворення титану. До числа таких елементів можна віднести олово, цирконій, германій, гафній і торій, звані нейтральними зміцнювачими. Легуючі елементи і домішки в титані можна також розділити на елементи заміщення і впровадження. Підсумкову класифікацію легуючих елементів і домішок в титані можна представити схемою, наведеною на рисунку 1.1.



Рисунок - 1.1. Класифікація легуючих елементів та домішок в титані.

З використанням зазначених стабілізаторів можна отримувати титанові сплави трьох основних типів - α , β і $(\alpha + \beta)$, кожен з яких володіє своїми характерними властивостями (табл. 2). Крім того, є сплави типу $\alpha + x$, де x - фаза, що складається із з'єднань типу TiAb, TiFe, TiMn, TiCr, TiC. У структурі сплавів можуть бути карбіди, гідриди та інші металлідні фази, наприклад силіциди, зустрічаються зазвичай в невеликих кількостях. Сплави типу $(\alpha + \beta)$ отримують легуванням титану елементами, що утворюють α - і β -тверді розчин

з різним співвідношенням цих фаз і розширюють температурну область фазових перетворень титану. Двофазна структура сплавів виникає при нагріванні під загартування і фіксується різким охолодженням. Термообробка ($\alpha + \beta$) -сплавів дозволяє помітно підвищити їх міцність при відносно невеликому погіршенні їх пластичності. Вони володіють обмеженим зварюванням, після зварювання необхідна термічна обробка зварних швів. Наступні (після алюмінію) за важливістю легуючі елементи титанових сплавів - ванадій і молібден.

1.4 Комплексне легування титанових сплавів

В останні роки в провідних матеріалознавчих центрах США, Китаю, Росії та Японії створена ціла серія нових титанових сплавів з підвищеними експлуатаційними властивостями. Так, наприклад, в США створено високоміцний титановий сплав Ti-575 (Ti-5Al-7V), в Росії (ВІАМ) - новий конструкційний сплав BT43 (Ti-Al-Mo-V-Cr-Fe-Nb-Zr-Cu) і жароміцний сплав BT41 (Ti-Al-Sn-Zr-Mo-Si), а спеціалістами ВСМ-ПО розроблений і розпочато виробництво нового російського β -сплаву 55531 (Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr-1Zr) з рівнем міцності 1100 МПа. Експлуатаційні властивості цих сплавів перевищують характеристики своїх аналогів на 10 ... 30%. В ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України розроблено отекількісний сплав на основі титану - новий високоміцний конструкційний сплав T110 системи легування Ti-Al-Mo-Nb-Fe-Zr, котрий в відпаленого стані має міцність ≥ 1100 МПа при високих показателях пластичності $\delta \geq 18$, $\psi \geq 50\%$; KCV ≥ 40 Дж / см² і хорошу сварюваність [2].

В даний час в усьому світі спостерігається стійка тенденція збільшення частки високоміцних титанових матеріалів, зварні з'єднання яких мають комплекс високих механічних та експлуатаційних властивостей.

Створення нового високоміцного ($\alpha + \beta$) –титанового сплаву з межею міцності > 1200 МПа, задовільними показниками пластичності і гарну зварюваність дозволить значно розширити номенклатуру деталей відповідального призначення в поєднанні, авіаційної, космічної та інших галузях промисловості. Найбільш перспективним напрямком підвищення конструкційної міцності при розробці високоміцних складно легованих титанових сплавів є комплексне легування, яке взято за основу при розробці нових сплавів.

Створена теорія комплексного легування титанових сплавів і розроблений комплексно-легуєчий сплав ВТ23 універсального застосування. Основні принципи комплексного легування зводяться до наступних:

- підвищення міцності α і β -твердих розчинів і зменшення різниці в їх міцності;
- легування β -стабілізуючими елементами протилежного розподілу при дендритних ліквідації з метою забезпечення сталості сумарної кількості β -стабілізуючих елементів в різних зонах дендритів;
- легування ізоморфними і евтектоїдоутворюючими елементами в співвідношення від 2:1 до 1:1.

Область і склад легування сплаву ВТ23 визначили наступні позитивні фактори: максимальна міцність зварних з'єднань, максимальна ефективність ВТМО, максимальне значення характеристики K_s основного матеріалу і зварних з'єднань, порівняно невисока вартість, знижена енергоємність, висока технологічність при зварюванні і термічній обробці. При створенні маневреність літаків нового покоління з метою значного підвищення вагової ефективності було запропоновано використовувати саме сплав ВТ23М в якості обшивки. Розроблена технологія поздовжньо-поперечного прокатки забезпечила отримання базової текстури у листів сплаву ВТ23М, що в свою чергу підвищило їх технологічну пластичність при штампуванні. Рівень міцності основного металу і зварних з'єднань листів сплаву ВТ23М підвищений на 80%. Так само розроблений новий комплексно-легований

двофазний сплав ВТ43 - на основі запропонованої теорії комплексного легування. Він містить легуючі елементи з коефіцієнтом розподілу при дендритних ліквації > 1 і < 1 .

Сумарна кількість β -стабілізаторів в осях і межосних обсягах постійно забезпечує однорідне зміцнення. Міцність і мікротвердість α - і β -твердих розчинів близькі, що є важливим фактором комплексного легування.

Завдяки комплексному легування ($\alpha + \beta$) -сплава з включенням до його складу додаткових легуючих елементів, підвищують міцність і жароміцність, досягнуті службові характеристики, що перевершують властивості всіх кращих зарубіжних і вітчизняних аналогів.

Зокрема використання сплаву ВТ43 створює додатковий економічний ефект і рекомендується для виготовлення гідроаккумуляторів та силових конструкцій літаків, космічних апаратів та ракет.

Для сплавів ВТ23, ВТ23М, ВТ43 запропонована багатостадійна температурно-деформаційна обробка тиском, яка включає:

1. Дві стадії нагріву в β -області і наступні всебічні деформації зі зміною напрямку деформування, що забезпечує заварювання різноорієнтованих дефектів у вигляді пор та невідповідностей, усереднення хімічного складу і зменшення величини β -зерна.

2. Дві фазові перекристалізації, які полягають в гарячій деформації при температурі ($\alpha + \beta$) -області з наступною деформацією при температурі β -області, що забезпечує отримання однорідної крейда-козернистої β -структури.

3. Регламентувати деформацію в ($\alpha + \beta$) -області без подальших нагрівів, що забезпечує збереження ефекту ВТМО, поліпшення стан кордонів зерен і внутрішньо-зернової структури. Сплави оброблені тиском за даною технологією, мають високий рівень міцності і тріщиностійкості при високій стабільності механічних властивостей. Слід зазначити що при нагріванні перед правкою в області температур структури і виключається позитивний ефект ВТМО. Це призводить до різкого зниження експлуатаційних характеристик, особливо тих, які досягаються лише при проведенні ВТМО.

Деформація злитка в одному напрямку призводить до великої хімічної і структурно-фазової неоднорідності, а також неоднорідності механічних властивостей по довжині напівфабрикату при їх значній анізотропії. В цьому випадку механічні властивості зразків, взяті з однієї зони, які не будуть характеризувати механічні властивості всіх напівфабрикату, а будуть характеризувати лише властивості матеріалу в даній зоні. Якщо ефект поліпшення структури і механічних властивостей при першому всебічному куванні і першій фазовій перекристалізації прийняти за 100%, то при наступних стадіях проведення даного процесу ефект поліпшення буде орієнтовно складати 80,60,40%. Виключення однієї операції може зменшити вартість на напівфабрикату на 5%, але при цьому ресурс роботи конструкції знизиться в два і більше разів, а можливо приведе до передчасного руйнування [3].

Напрямок створення нових титанових сплавів шляхом застосування комплексного макро- і мікролегуювання в даний час є домінуючим, так як воно забезпечує отримання високих експлуатаційних властивостей основного матеріалу і зварних з'єднань в конструкція в широкому діапазоні температур. Поєднанням комплексного мікролегуювання з мікролегуюванням основного матеріалу, можна досягти значного ефекту при створенні сплавів і зварних конструкцій з них. Дослідження різних систем і сплавів в широкому діапазоні легування: з пластичної деформації, термічної і термомеханічної обробці, текстурних зміцнення, технології штампування, в тому числі і в умовах над пластичності, відкрили перспективу більш раціонального використання титанових сплавів в конструкціях. Ефект поліпшення механічних властивостей обумовлений зменшенням розмірів пер-первинних β -зерен, поліпшенням стану кордонів, істотним подрібненням внутрішньо зернової структури, дисперсним рівномірним розпадом при старінні, зміна характеру розподілу домішок і легуючих елементів, підвищенням щільності дислокації і зменшенням областей когерентного розсіювання. Найбільш ефективні способи зміцнення, при яких дисперсне зміцнення превалює над зміцненням фазовим наклепом. Для отримання конструкційних титанових сплавів високої

питомої міцності при кімнатних і підвищених температурах необхідно поєднання металургійних і технологічних факторів впливу на структуру, спеціального для титанових сплавів конструювання і технології виготовлення виробів. Всебічний підхід може забезпечити більш успішне і більш широке застосування титанових сплавів в сучасних конструкціях авіакосмічній та ракетної техніки [5].

1.5 Підвищення міцності титанових сплавів наклепом при холодному деформуванні.

Фазовий склад сплавів є одним з основних факторів, визначаючих допустимий ступінь холодної деформації. Так, збільшення кількості β -фази в сплавах ВТ16, ВТ15, призводить до збільшення допустимої ступеня деформації в холодному стані. Незначне підвищення міцності при холодному деформуванні в відпаленому і загартованому станах супроводжується різким зниженням пластичності. У загартованому стані сплави при деформації зміцнюються в більшій мірі, ніж в відпаленому, що пов'язано з додатковим зміцненням в результаті розпаду нестабільної β -фази, зафіксованої загартуванням за мартенситною реакцією. Це важливий науковий висновок, який свідчить про нестабільність β -фази в сплавах для успішної конкуренції титанових сплавів в авіації з високоміцними сталями треба підвищити міцність в деталях до $\sigma_b = 1080-1180$ МПа ($110-120$ кгс / мм²) при задовільних характеристиках пластичності, в'язкості руйнування.. Проведені раніше комплексні дослідження по термічній обробці різних напівфабрикатів та готових деталей зі сплаву ВТ23 дозволили показати наукові досягнення і можливі варіанти прогресу в розробці нових та оптимізації відомих технологічних схем проведення заходів для підвищення рівня властивостей.

Однак результати досліджень та їх можливе використання зараз в реальній практиці не визначені.

При розгляді рекомендованих режимів дано більш повне тлумачення результатів проведених досліджень. Механічні властивості (σ_b , δ , ψ , КСУ и КСТ) в даного випадка визначавши по стандартним методикам (КСТ - на зразки типу 19), малоциклово втому - на машині EUS-100 на гладких зразки діаметром 10 мм ($\sigma_{max} = 75$ кгс / мм², $\nu = 3$ Гц) та з кільцевим надрізом ($r = 0,1$ мм; $kt = 4,0$; $\sigma_{max} = 40$ кгс / мм²; $\nu = 3$ Гц).

Одна з відмінних рис сплаву ВТ23 - значна кількість мета-стабільної β -фази в структурі при охолодженні в ванні напівфабрикатів на повітрі після проведення гарячої деформації або додатково нагріву при температурах верхньої частини ($\alpha + \beta$) - області і охолодження на повітрі («м'яка» гарт). Цей факт є основою для вдосконалення технологій термічної обробки в цій роботі. Наприклад, міцність сплаву ВТ23 $\sigma_b = 1150$ МПа досягається вже після високотемпературного нагріву заготовок при 850°C протягом 1 год і охолодженні з швидкістю не менше 0,22°C/с і подальшого старіння при температурі 450°C протягом 8 год. Після нагріву зразків з плити товщиною 100 мм при температурі 600-620°C, витримка протягом 0,5-1 год. і охолодженні на повітрі міцність сплаву ВТ23 склала $\sigma_b = 1080-1100$ МПа за одночасного високого рівня пластичності. Це пов'язано з тим, що при повільному і рівномірному нагріванні заготовок плити до температури 600-620°C і витримці протягом 0,5-1 год. відбувається вирівнювання тонкої структури і фазового складу сплаву ВТ23 за рахунок розпаду твердого розчину в місцях наявності не перетвореної метастабільної β -фази з виділенням гетерофазних продуктів, а коагуляції дрібних частинок, раніше в процесі охолодження плити на повітрі після прокатки, не відбувається. Коагуляція часток вторинної α -фази стає реально діючим фактором при збільшенні часу витримки більше 2 год., коли починає помітно падати міцність. Можна також припустити перебіг інших, пов'язаних з гарячою ковкою або прокаткою

процесів при нагріванні до 600-620°C і витримці протягом до 1 год в структурі гарячодеформованого сплаву VT23.

Рівномірне охолодження з температури 600-620°C на повітрі: швидкість охолодження на початку складає 0,15-0,2°C / с, а потім знижується до 0,05°C/с, сприяє стабілізації структури і фазового складу гарячодеформованого сплаву VT23 (близько 30 % β -фази, $a\beta = 0,3210$ нм). Про високої стабільності β -фази в сплаві VT23 після нагрівання заготовок при температурі 600-620°C і охолодженні на повітрі говорить той факт, що її помітний розпад в структурі при подальшому нагріванні починається тільки при температурі вище 525°C протягом 10 год , а експлуатація деталей проводиться при температурі до 400°C. При та-ком режимі термічної обробки не відбувається огрубіння структури і тому забезпечується висока пластичність сплаву VT23: $\delta = 11-13\%$, $\psi = 30-38\%$ і $\delta = 12-14\%$, $\psi = 35-41\%$ відповідно для температур 600 і 620°C. До того ж цей режим є досить простим і економічним способом проведення термічної обробки [4].

1.6 Особливості СМК структури у двофазних титанових сплавах

В даний час у зв'язку із застосуванням високолегованих титанових сплавів впровадження операцій термічної обробки стає невід'ємною завданням. Однак слід врахувати той факт, що з підвищенням межі міцності при термічній обробці, характеристики пластичності титанових сплавів знижуються; вони набувають підвищену чутливість до концентраторів напруг, внаслідок їх експлуатаційні характеристики погіршуються. Іншим чинником, що обмежує використання термічній обробки є наявність дефектів вихідної структури промислових напівфабрикатів. загартування і подальше старіння забезпечує отримання високих механічних властивостей тільки на напів фабрикатах з вихідної дрібнозернистої структурою. На сьогоднішній день

особлива увага приділяється напрямку робіт пов'язаних з отриманням в титанових сплавах СМК структури (із середнім розміром зерен до 1 мкм) [5].

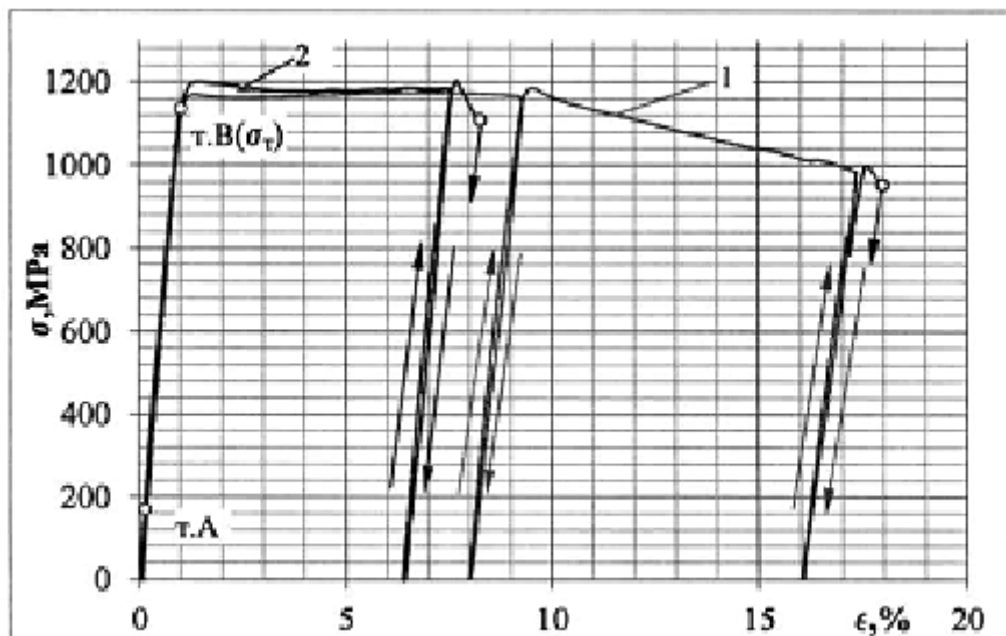
Добре відомо, що подрібнення зерен сприяє збільшенню пластичності та міцності матеріалів. Практично всі традиційні методи впливу на механічні властивості матеріалів підвищують лише одну з цих характеристик за рахунок зниження іншого. Матеріали можуть бути міцними або пластичними, але зазвичай не володіють обома властивостями одночасно. Разом з тим, недавні дослідження показали, що наноструктурування може привести до унікального поєднання особливо високої міцності і пластичності. Одними з найбільш ефективних методів отримання СМК структури в титанових заготовках є методи ПД, зокрема, ГЕ. Цей процес призначений для ефективного перетворення структури і властивостей матеріалів без істотної зміни розмірів і форми заготовок. Метод ГЕ дозволяє отримувати сплави з СМК структурою, що призводить до різкого зміни їх механічних властивостей в порівнянні з вихідним станом. Об'єктом досліджень обрані зразки з складнолегована титанового сплаву ВТ25У, використовуваного для виготовлення найбільш навантажених деталей компресора - моноколес. Мікроструктура вихідних заготовок складалася з α і β фаз величиною 10 ... 15 мкм. Встановлено закономірності впливу параметрів СМК структури на механічні властивості металу ВТ25У при підвищеній температурі, а також закономірності формування стабільної структури в результаті термообробки сплаву ВТ25У, що забезпечило підвищення його механічних властивостей до 20%.

Останні винаходи в галузі металургії, а саме деформаційний спосіб зміни вихідної структури двофазних титанових сплавів, який полягає в тому, що зразки титанового сплаву монотонно одновісно деформують шляхом розтягу в пружній області за кімнатної температури до значення напружень в зразках 0,1...0,2 межі текучості сплаву, а потім піддають впливу ударно-коливального навантаження з частотою 1...2 кГц, при якому сумарні напруження в зразках від дії попереднього статичного навантаження і ударно-

коливального навантаження впритул досягають межі текучості сплаву, після чого повністю розвантажують.

Вплив способу навантаження на вихідну структуру титанового сплаву оцінюють фізичними методами. На рисунку 1.2 приведена діаграми деформацій титанового сплаву BT22

Спосіб дозволяє досягнути значної зміни у вихідній структурі титанового сплаву і значно збільшити його пластичність, до того ж, запропонований спосіб реалізований при малих, фактично пружних, деформаціях та за кімнатної температури [3].



1 – складний режим навантаження (попередній статичний розтяг-ударно-коливальне-навантаження-подальший статичний розтяг),

2 – стандартний статичний розтяг

Рисунок 1.2 – Діаграми деформацій титанового сплаву BT22:

Таким чином на сучасному етапі в авіабудівництві, зокрема для деталей ГТД використовуються сплави: BT3-1, BT8, BT9 для дисків, лопаток та інших деталей компресора; BT22, BT23 для високонавантажених деталей,

довгочасно працюючих при температурах 400-450; BT14, BT16 для кріпильних та різьбових деталей.

Проте висуваються задачі по збільшенню показників жароміцності, оскільки від цього залежить довговічності, експлуатаційна стійкість, ККД та економічний ефект

Основна більшість досліджень присвячена структуроутворенню матеріалу з метою забезпечення комплексу фізико-механічних та експлуатаційних властивостей і, як наслідок, конкурентно спроможності продукції.

Основним показником титанових сплавів є жароміцність, проте висуваються відповідні вимоги і до інших механічних властивостей. Для деталей ГТД більш доцільним є використання саме двофазних титанових сплавів, оскільки їх особливістю є висока технологічна пластичність, разом з цим вони можуть бути оброблені до достатньо високої міцності, та мають високі показники жароміцності. Проте недоліками сплавів є гірша зварюваність, порівняно з іншими групами титанових сплавів

Крім того важливу увагу приділяють легуванню, яке може підвищити механічних властивості у 2-3 рази. Створена теорія комплексного легування, що дозволяє отримувати вискоміцні титанові сплави. Використання легуючих елементів має бути доцільними, з метою підвищення економічного ефекту.

Отримання СМК структури в титанових сплавах є досить перспективним методом підвищення механічних властивостей, оскільки при цьому можна одночасно отримати високі показники міцності та пластичності.

2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Характеристика двофазних титанових сплавів

У роботі розглянуто робочу лопатку газотурбіного двигуна, яка є основною і відповідальною складовою турбіни. Деталь виготовлена з двофазного сплаву ВТЗ-1. У якості нового сплаву запропоновано сплав ВТ8

Методи дослідження – мікроструктурний аналіз (оптична та електронна мікроскопія), рентгенівський фазовий аналіз, механічні випробування на розтяг, вимірювання твердості та довготривалої гарячої твердості.

Титановий деформівний сплав ВТЗ-1 володіє гарними антикорозійними, жаростійкими і механічними властивостями. Основними легуючими елементами для цієї марки сплаву є алюміній і молібден. З інших домішок слід зазначити хром, цирконій, залізо, кремній, кисень, вуглець, азот і водень. Сплав ВТЗ-1 відноситься до двофазного класу за структурою $\alpha + \beta$. Матеріал обмежено зварюється, піддається термічній обробці у вигляді відпалу, гартування і старіння. Сплав ВТЗ-1 використовується для виготовлення штампованих і кованих деталей, що працюють при температурі до 400°C (6000 год.) та до 450°C (2000 год.)

Для сплаву ВТЗ-1 використовуються наступні види термічної обробки: відпал, гартування, старіння.

У таблиці 2.1 наведено хімічний склад двофазних титанових сплавів.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад двофазних титанових сплавів

Марка сплаву	Легуючі елементи, % (основа - Ti)						
	Al	Sn	Zr	Mo	V	Si	Інші
ВТЗ-1	5,5–7,0	–	–	2,0–3,0	–	0,15–0,40	Cr 0,8–2,0
ВТ8	5,8–7,0	–	–	2,8–3,8	–	0,20–0,40	Fe 0,2–0,4

У таблиці 2.2 наведені основні механічні властивості у стані постачання, а в таблиці 2.3. при температурі випробування 400°C

Таблиця 2.1 – Механічні властивості сплавів, що досліджуються у стані постачання

Марка сплаву	Діаметр, мм	Тимчасовий опір, МПа	Відносне		Ударна в'язкість (КСУ), Дж / см ²
			видовження	звуження	
BT3-1	< 50	980-1180	12	35	30 (3,0)
BT8	< 60	1030-1226	9	30	29

Таблиця 2.3 – Механічні властивості зразків зі сплаву BT3-1

Марка сплаву	Температура випробування °C	Механічні властивості		
		Тимчасовий опір, МПа	Довготривала міцність	
			Постійне прикладене напруження МПа	Тривалість випробування, год, не менше
BT3-1	400°C	685	685	50
			665	100
BT8		815	785	50
			765	100

Сплав BT8 забезпечує більш високі характеристики міцності і жароміцні властивості в порівнянні зі сплавом BT3-1 за рахунок високого вмісту алюмінію та легування кремнію. Максимальна робоча температура 480 °C.

Сплав BT8 перевершує сплав BT3-1 по термічній стабільності, технологічності і характеристикам тріщиностійкості. Подвійний і ізотермічний відпал забезпечують оптимальне поєднання властивостей; зміст β - фази в відпаленому сплаві приблизно 10%. Сплав термічно зміцнюється. Основні види напівфабрикату є прутки, поковки, штампування і плити. Задовільно деформується в гарячому стані. Технологічні властивості при обробці тиском гірше, ніж у сплаві BT3-1

2.2 Технологія отримання лопаток методом ІПД за допомогою гвинтової екструзії

Виробництво матеріалів з нано- або субмікрокрісталічної (СМК) структурою, отримані методами інтенсивної пластичної деформації (ІПД), зокрема, гвинтовий екструзією. Лопатки і моноколес компресора ГТД виготовляють з $(\alpha + \beta)$ - сплавів титану марок ВТЗ-1, ВТ8, ВТ8М-1.

Дослідження впливу температури деформації на структуру проводили для сплаву ВТ8. Деформацію здійснювали методом гвинтової екструзії на гідравлічному пресі, зусиллям 1,6 МН. На рисунку 2.1 приведена фотографія технологічної оснастки для здійснення процесу деформації.



Рисунок 2.1 - Технологічна оснастка для ГЕ

У поперечному перетин канал гвинтовий матриці був у формі овал з розмірами 12x20мм. Довжина каналу 7мм, кут повороту поперечного перерізу 40 °С. Поперечний переріз заготовки повторювало геометрію каналу гвинтової матриці. Для зменшення тертя поверхні заготовки оброблювалися розчином міді і використовували спеціальну змазку на основі гідриду титану.

Перед деформацією заготовку нагрівали до заданої температури в печі опору. Нагрівання оснащення для штампування проводили за допомогою нагрівача до температури 450°C і підтримували на постійному рівні на етапі

обробки. Контроль температури оснащення виконували за допомогою термопари, що забезпечує точність вимірювання температури.

Дослідження мікроструктури проводили на просвітлювальном електронном мікроскопі JEM-100СХН при напрузі 100кВ, а також на растрових електронних мікроскопах JSM-T300, РЕМ-106И з застосуванням хімічного аналізу по лінії і в точці.

Кількісний аналіз структурних складових виконували методом січних з використанням в якості аналізованої поверхні область шліфа розмірами 100х100мкм для визначення кількості структурних складових розміром до 500Нм. В якості січних використовували лінійку в програмному забезпеченні устаткування. З метою визначення зміни механічних властивостей в різних зонах деформованих зразків визначали мікротвердість на приладі ММ7Т при навантаженні индентора в 50г протягом 10с.

Статична рекристалізація сплаву ВТ8 відбувається при температурах 900-950°C, тому верхній рівень температурного нагріву під деформаційних обробку взяли рівним 900°C, нижній - 650°C., виходячи з того, що в районі 600-650°C, має місце стрибкоподібне зниження пластичності і підвищення опору деформації сплаву.

Застосування для виготовлення лопаток компресора сплавів в СМК стані накладає ряд обмежень на технологічний процес їх виготовлення, пов'язаних з особливістю структури і властивостей таких матеріалів. В першу чергу, швидке зростання зерен при температурах вище температури поліморфного перетворення. Це зумовлює вибір методів механічної і термічної обробки при виготовленні з них деталей ГТД. Для визначення застосовності варіантів виготовлення лопаток з матеріалів в СМК стані необхідно розглянути їх особливості з точки зору впливу на структуру сплаву. Виготовлення лопаток компресора з титанових сплавів використовують наступну схему:

- Отримання заготовки методом видавлювання або періодичної прокатки;
- Формоутворення пера механічною обробкою;

- Пластична деформація (вальцевание);
- Доведення геометрії пера;
- Формоутворення хвостовика лопатки пластичної деформації (вальцювання);
- Термічна обробка;
- Оздоблювально-зміцнююча обробка пера лопатки (шліфування крайок, віброабразивної обробка, деформаційне зміцнення поверхневого шару);
- Зміцнення хвостовика лопатки.

При такій схемі технологія отримання заготовки є високопродуктивною, її форма і розміри максимально наближені до готової деталі, забезпечуються високі механічні властивості. Технологія передбачає значне нагрівання металу до температур 800 ... 900°C, при видавлюванні і 500 ... 600°C, при штампуванні.

Для даної технології характерна значна нерівномірність пластичної деформації уздовж осей пера лопатки. Обидва ці фактори для сплавів в СМК стані можуть зумовлювати процеси структурно-фазових переходів, а також процеси повернення і зростання зерна. Однак для даної технології несприятливим, з точки зору отримання лопаток зі сплавів в СМК стані, є операції з доведення геометрії профілю пера і кромки лопаток, що виконуються абразивними інструментами. Так, при шліфуванні кромки лопаток вони піддаються періодичному місцевому нагріванню, що призводить до некерованого процесу рекристалізації.

Контактна температура в зоні шліфування 850-1050°C, неприпустима для сплавів в СМК стані.

Однією з прогресивних технологічних процесів є технологія отримання лопаток компресора, заснована на формоутворенні високошвидкісним фрезеруванням. Основними особливостями процесу є малі товщини зрізу і високі швидкості різання. При цьому в якості заготовок для лопаток може бути використаний прокат різного перетину, поковки і штампування.

В якості дослідної, запропонована наступна технологічна схема:

З заготовки титанового сплаву з СМК структурою проведення формоутворення пера лопатки шляхом механічної обробки (високошвидкісним фрезерування).

Таким чином, аналіз особливостей технологічних схем виготовлення лопаток компресора стосовно металам в СМК стані показує, що їх необхідно розглядати в двох аспектах: отримання заготовок з СМК структурою і подальшого формоутворення з поверхневою обробкою. Дана технологічна схема приведена на рисунку 2.2.

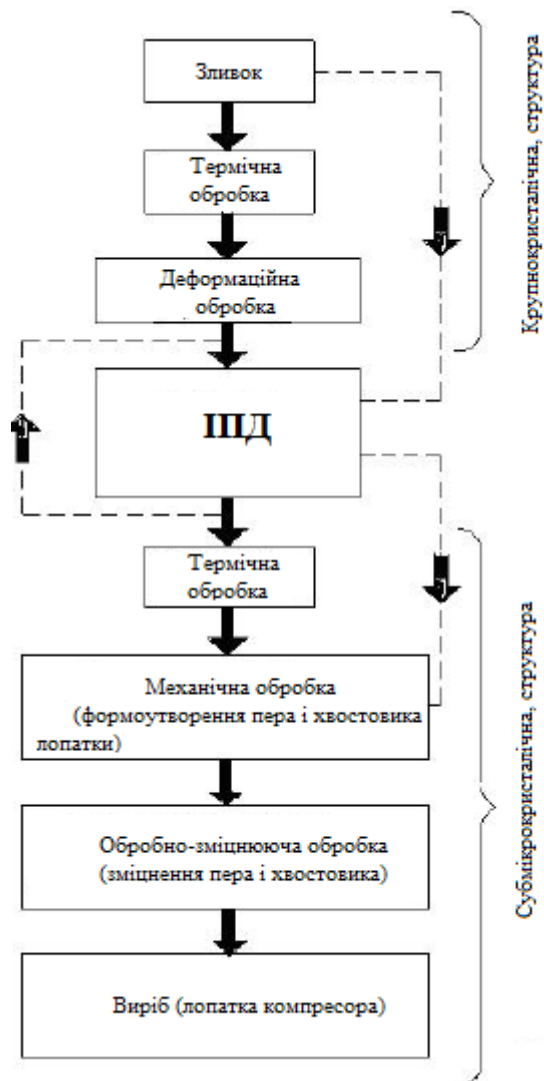


Рисунок 2.2 - Структурна технологічна схема виготовлення лопаток компресора з жароміцного титанового сплаву BT8 з використанням інтенсивної пластичної деформації.

В цілому дана схема дозволяє отримувати заготовки безпосередньо із злитків жароміцних титанових сплавів з заданої СМК структурою і подальшим формоутворенням профілю лопатки без істотної зміни структури і властивостей.

2.3 Методика дослідження спрямована на причини руйнування деталей з двофазних титанових сплавів.

На практиці було проаналізовано причини руйнування штуцера зі сплаву ВТЗ-1 та лопатки першого ступня компресора зі сплаву ВТ8.

Дослідження штуцера з метою визначення характеру руйнування. Облом штуцера стався при монтажі.

Згідно з кресленням матеріал штуцера - титановий сплав ВТЗ-1. Покриття Ан.Окс.імп.2-3.

Дослідження включало:

1. Візуальний огляд деталі.
2. Класифікація зламу за місцем руйнування.
3. Контроль якості матеріалу на відповідність вимогам документації

Візуальний огляд штуцера глухого виконувався із застосуванням бінокулярного мікроскопа при збільшенні $\times 4 \dots 25$.

Результати дослідження штуцера наведено у третьому розділі.

Дослідження лопатки

Лопатка надійшла на дослідження з метою визначення характеру тріщини на хвостовику.

Матеріал лопаток - титановий сплав ВТЗ-1. товщина покриття на хвостовику – 9 - 11мкм.

Дослідження включало:

1. Візуальний огляд лопатки з тріщиною;

3. Класифікація зламу по вскритій тріщині;
4. Контроль товщини покриття 9-11 мкм. на хвостовику лопатки;
5. Контроль якості матеріалу на відповідність креслення.

Зовнішній вигляд лопатки представлений на рисунку 2.3



Рисунок 2.3 – Вид лопатки з тріщиною.

Візуальний огляд стану покриття на хвостовиках лопаток

Оптико-візуальний огляд виконаний із застосуванням біноклярного мікроскопа МБС-10 при збільшеннях $\times 4 \dots 25$.

Результати досліджень наведено у третьому розділі.

Це дослідження є досить важливим, оскільки визначає причини руйнування та дає змогу проаналізувати шляхи підвищення механічних властивостей деталей ГТД, що запропоновано у третьому розділі.

3 АНАЛІЗ ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Результати дослідження причин руйнування деталей ГТД

У другому розділі була наведена методика дослідження причин руйнування штуцера з сплаву ВТЗ-1 та лопатки з сплаву ВТ8.

У результаті дослідження штуцера, спостерігається наступне руйнування штуцера відбулося за чотирма перемичками отворів $\varnothing 3\text{мм}$ в поперечному перерізі на відстані $\sim 10\text{мм}$ від торця головки. Поверхня деталі гладка, темно-зеленого кольору. За витків різьби є налипання речовини світло-сірого кольору. Поверхня руйнування штуцера розташована під кутом $\sim 45^\circ$ до осі деталі, що свідчить про вплив нормальних навантажень при крутінні. У макрорельєфу зламу спостерігається одностороння спрямованість руйнування. Злами по перемичках - статичного характеру наведено на рисунку 3.1. Для мікро дослідження виконаний шліф по торцю головки штуцера.



Рисунок 3.1 - Макробудова зламу за місцем руйнування штуцера.

Макро- і мікроструктура матеріалу штуцера відповідає вимогам: фон труєний поверхні матовий, величина макрозерна відповідає 1 балу при вимозі не більше 4 - го бала, величина мікрозерна відповідає 2 типу 9 - типної шкали при вимозі 1 - 7 типу наведено на рисунку 3.2. Матеріал штуцера відповідає титановому сплаву ВТЗ-1.

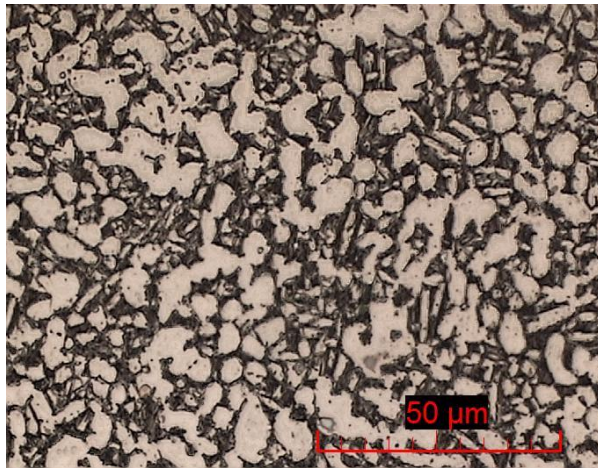


Рисунок 3.2 - Макро- і мікроструктура матеріалу штукатурки.

Таким чином було встановлено:

1. Якість матеріалу штукатурки відповідає вимогам технічної документації.

2. Руйнування штукатурки - статичного характеру, з ознаками крутіння.

При аналізі причин руйнування лопатки, було виявлено наступне.

На хвостовику лопатки є тріщина, що розташовується на верхній межі робочої поверхні хвостовика з боку корита, огинає торець хвостовика і виходить на робочу поверхню з боку спинки. Довжину тріщини ~ 12 мм по робочій поверхні з боку корита, ~ 8 мм по заднього торця і ~ 10 мм по робочій поверхні з боку спинки. На відстані ~ 5 мм від заднього торця з боку корита є розвиток тріщини в іншій площині, протяжністю ~ 8мм наведено на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Вид тріщини, що розкрилась з боку корита.

Робоча поверхня хвостовика лопатки з боку корита і спинки пошкоджена фреттинг-зносом, найбільш вираженим з боку корита уздовж радіуса переходу від робочої поверхні до ніжки поблизу заднього торця, в зоні тріщини. Злам по вскритій тріщині багато осередкового втомного характеру наведено на рисунку 3.4 осередки розташовані на робочій поверхні хвостовика з боку корита в зоні пошкодження фреттингом на відстані $\sim 1,5 \dots 3$ мм від заднього торця. Розвиток тріщини в іншій площині знаходиться поблизу осередкової зони. Металургійних дефектів в зламі не виявлено.



Рисунок 3.4 – Вид зламу.

Товщина покриття на хвостовику лопатки визначалася струменево-періодичним методом. При цьому встановлено, що його товщина складає 10,975 мкм при вимозі креслення 9 – 11 мкм.

Матеріал лопатки відповідає титановому сплаву BT8. Твердість матеріалу становить 36,5 HRC

Макроструктура матеріалу лопатки, проконтролювати по поверхні пера лопатки після травлення, відповідає вимогам: фон травленою поверхні матовий, величина зерна відповідає 1 балу при нормі не більше 3-го балу 10-ти бальної шкали макроструктур. Мікроструктура, проконтролювати на поздовжньому шліфу хвостової частини, відповідає 2-го типу при нормі не більше 4-го типу шкали мікроструктур на рисунку 3.5.

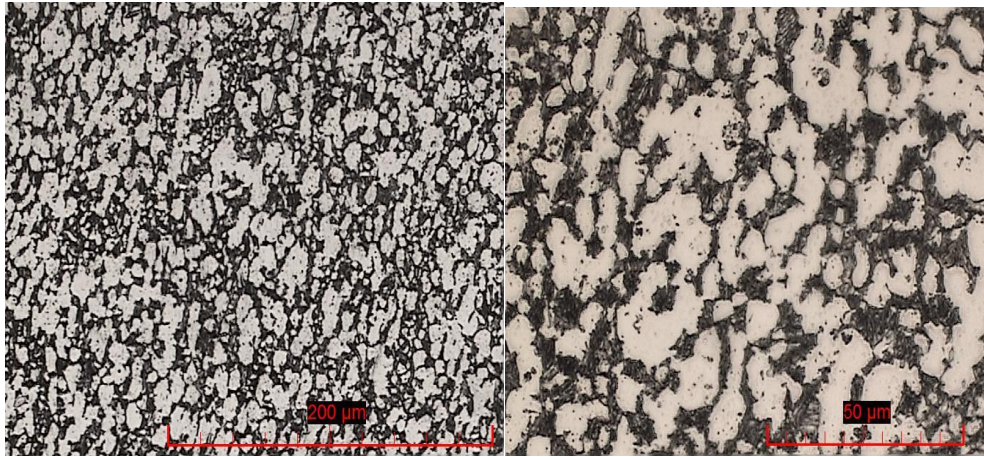


Рисунок 3.5 – Мікроструктура зламу лопатки зі сплаву BT8.

Таким чином було встановлено:

1. Якість основного матеріалу робочої лопатки 1 ступеня КВД відповідає вимогам.
2. Злам по вскритій тріщині на лопатці – багато осередкового втомного характеру, осередки розташовані на краю (межі) робочої поверхні хвостовика з боку корита в зоні пошкодження фреттингом на відстані $\sim 1,5 \dots 3$ мм від заднього торця.
3. Товщина покриття на хвостовику лопатки становить 10,975 мкм.

3.2 Термічна обробка титанових сплавів

Для титанових сплавів використовують наступні види термічної обробки: відпал, гартування та старіння.

Відпал титанових сплавів проводять з метою упорядкування структури, фазового складу, досягнення однорідності властивостей, підвищення пластичності, а також усунення внутрішніх напружень, які утворюються в процесі обробки тиском. Відпал складається з нагріву при температурах вище за температури початку рекристалізації, але нижче температури поліморфного

перетворення, витримки при відповідній температурі та наступного охолодження. Для стабілізації структури та властивостей жароміцних титанових сплавів використовуються також подвійний та ізотермічний відпал.

Структури які отриманні при термічній обробці наведені на рисунку 3.6

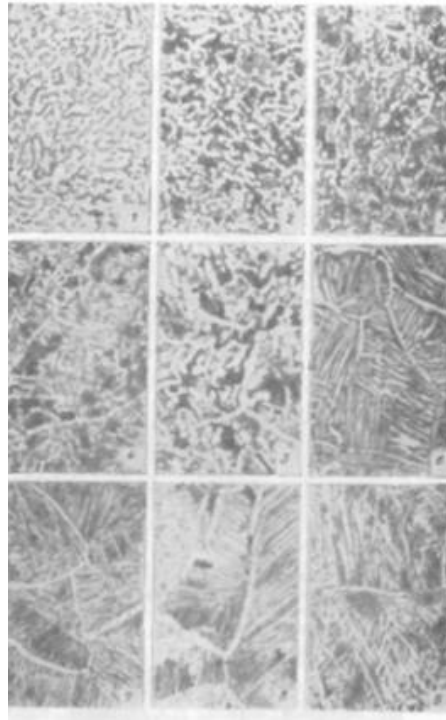


Рисунок 3.6 – Структура двофазних титанових сплавів після термічної обробки.

Подвійний відпал складається з двох стадій нагріву з проміжним охолодженням на повітрі. Нагрів при температурах на 20 – 160 градусів нижче температури поліморфного перетворення, охолодження на повітрі, другий нагрів при температурах на 300 – 450 градусів нижче температури поліморфного перетворення та охолодження на повітрі.

Ізотермічний відпал відрізняється від подвійного відпала швидкістю проміжного охолодження до температури другої ступені, замість охолодження на повітрі. До титанових сплавів використовується загальні принципи: відпал 1 роду, не пов'язаний з фазовими перетвореннями, характерне для $\alpha + \beta$ –

титанових сплавів, оскільки він заснована на зміні фазового складу та супроводжується зміною співвідношення та концентрації α та β -фаз.

Для зняття внутрішніх напружень в напівфабрикатів або деталях проводять неповний відпал.

Гартування та старіння є зміцнюючи термічною обробкою титанових сплавів та використовується для отримання високої міцності у поєднанні з достатньою пластичністю.

Гартування проводять з метою фіксування метастабільних фаз (β, α'', α') при швидкому охолодженні. Вона складається з нагріву при температурах існування β -фази та різкого охолодження з цих температур. Сплави з $(\alpha + \beta)$ – структурою для гартування нагрівають при температурах $(\alpha + \beta)$ -області. При гартуванні з температур верхньої часті $(\alpha + \beta)$ -області фіксується мартенсит, а з температур нижньої частини цієї області – метастабільна β -фаза.

Старіння проводять, щоб розклались метастабільні фази, отриманні в результаті гартування, вона складається з нагріву при температурах значних нижче температур поліморфного перетворення та наступного охолодження на повітрі.

Отримати оптимальне поєднання та пластичності сплавів $(\alpha + \beta)$ -структурою в результаті гартування та старіння можливо лише в якості присутності в структурі первинної α -фази, таким чином структура перед зміцнюювальною термообробкою виникає при деформації в $(\alpha + \beta)$ -області. Нагрів в β -області та поблизу її границі при термічній обробки знижує міцність та особливо пластичність після гарту та старіння внаслідок зросту зерна первинної β -фази та грубогольчатого внутрішньо зернового старіння.

Температура повного поліморфного перетворення різна для сплавів та коливається у межах одного сплава. Це пояснюється неоднорідністю хімічного складу внаслідок порційного легування при виплавці титанових сплавів, а також підвищеної спосібності титана поглинати гази.

Температуру $\alpha + \beta \rightarrow \beta$ -перетворення визначають гартуванням образців у воді з різних температур та дослідженням їх мікроструктури.

Образці нагрівають ступенями через 10 градусів при температурах, які лежать у межах, вказаних для даного сплаву з витримкою при цих температурах 30 хвилин, після чого образці гартують у воді.

3.3 Вплив деформації на структуру та властивості титанових сплавів

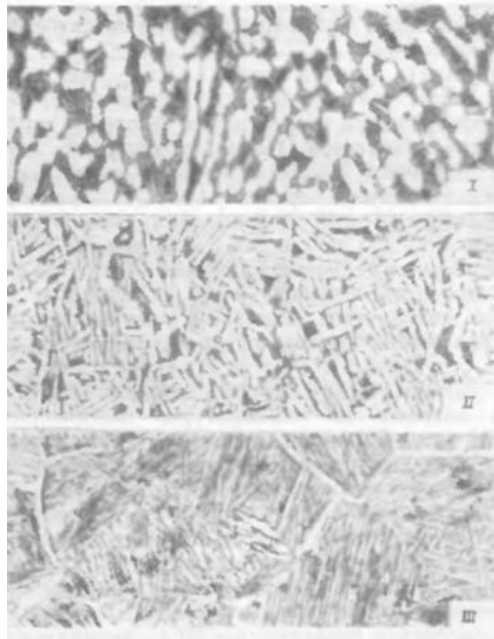
На відміну від сталі структура титанових сплавів формується в процесі гарячої деформації, а перегріта структура не виправляється термічною обробкою. Тому при виготовленні напівфабрикатів з титанових сплавів приділяється велика увага термомеханічним режимам деформування матеріалу. Структури титанових сплавів класифікуються за такими типами:

1 тип мікроструктури (рівновісна $\alpha + \beta$ структура) являє собою рівномірно розподілену суміш, що складається з первинної α -фази і суміші α і β -фаз і виходить при деформації сплавів в двофазної $\alpha + \beta$ -області при температурах 30 - 50 С нижче температури поліморфного перетворення.

При нагріванні металу в β -області і закінчення деформації в $(\alpha + \beta)$ - області утворюється 2 тип структури корзинчатим плетіння. Світлі ділянки первинної α -фази витягнуті у вигляді пластин, а між ними розташовується суміш фаз $\alpha + \beta$. Характерна особливість цієї структури - пластинчаста будова типу корзинчатим плетіння збережених Зері первинної β -фази.

В результаті нагрівання металу і деформації в β -області, а також внаслідок недостатньою опрацювання литої структури при виготовленні заготовок в процесі деформації з'являється 3 тип структури з великими зернами первинної β -фази і грубо або тонкоголчастої будовою всередині зерен. За останній час широко застосовуються нові види технологічних процесів, такі як ВТМО і ізотермічний деформування. В процесі ВТМО структура фіксується загартуванням у воді безпосередньо після деформації. У цьому випадку зберігається неправильність структури.

При ізотермічному деформуванні (штампи і заготовки нагріті до температури деформування) створюються умови гарної опрацювання матеріалу по всьому перетину, при цьому спостерігається значне подрібнення структури. На рисунку 3.7 наведені основні типи мікроструктур двофазних сплавів.



I – тип - рівновісна $\alpha + \beta$; II – тип кошикового плетіння; III – тип грубогольчата

Рисунок 3.7 – Основні типи мікроструктур двофазних титанових сплавів, отриманих при різних умовах деформування.

Одне з перших систематичних досліджень впливу мікроструктури на механічні властивості проведено на двофазному титановому сплаві ВТ8. Показано, що сплав з рівно вісною мікроструктурою володіє найбільш високою межею витривалості і найменшою чутливістю до надрізу (при 20 і 500°C), а також хорошим поєднанням міцності, пластичності при кімнатній температурі з термічною стабільністю сплаву. Сплаву з пластинчастою мікроструктурою відповідають найбільш високі значення опору повзучості при 500°C і середньої тривалої міцності, але більш низькі значення

характеристик міцності і пластичних характеристик. Численні дослідження в цілому підтвердили ці закономірності. Було встановлено, що найбільший вплив на механічні властивості надають такі параметри мікроструктури, як форма, розміри і об'ємне співвідношення первинної та вторинної α -фази. Параметри мікроструктури впливають на механічні властивості як при кімнатній, так і при підвищених температурах.

На рисунку 3.8 наведена залежність відносного звуження титанових сплавів від швидкості деформації

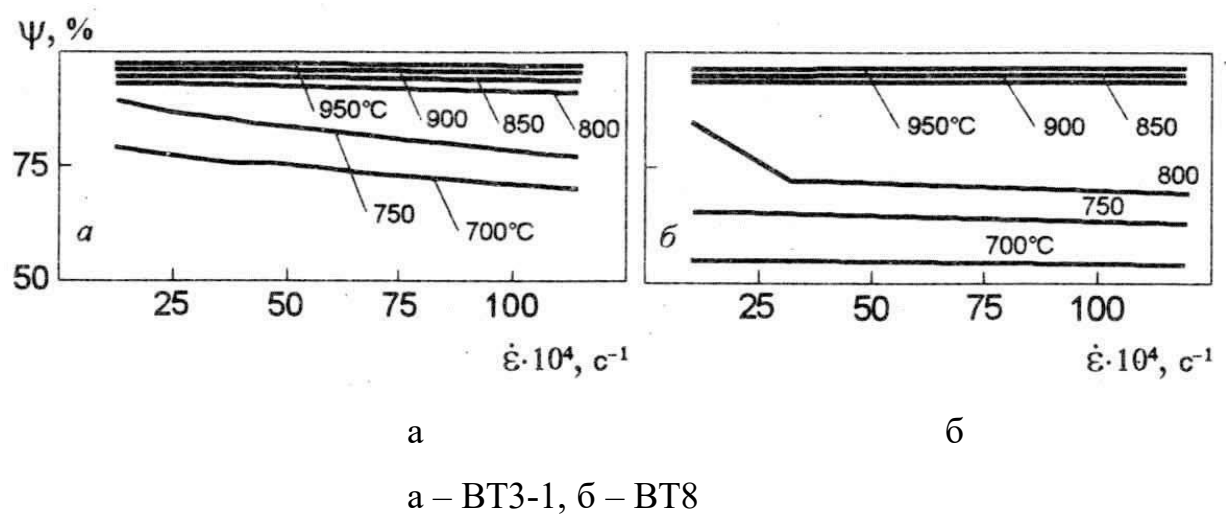
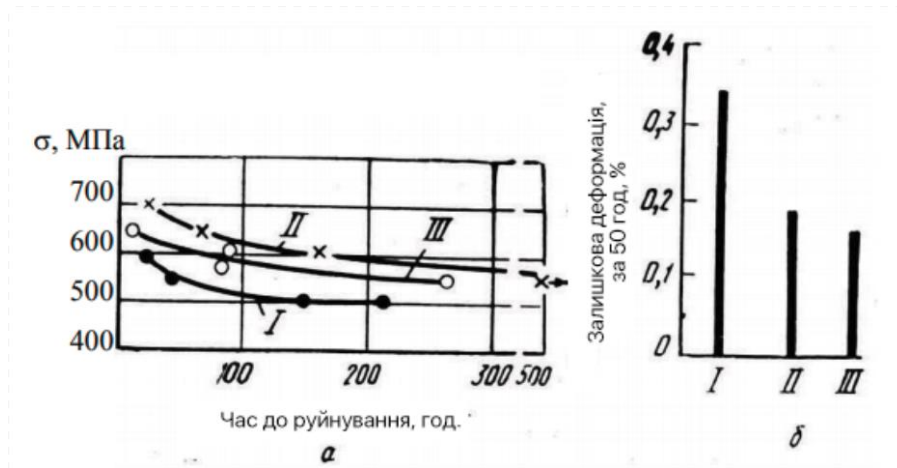


Рисунок – 3.8. Залежність відносного звуження титанових сплавів від швидкості деформації.

На рисунку 3.9 наведено вплив структури на властивості сплаву VT8.

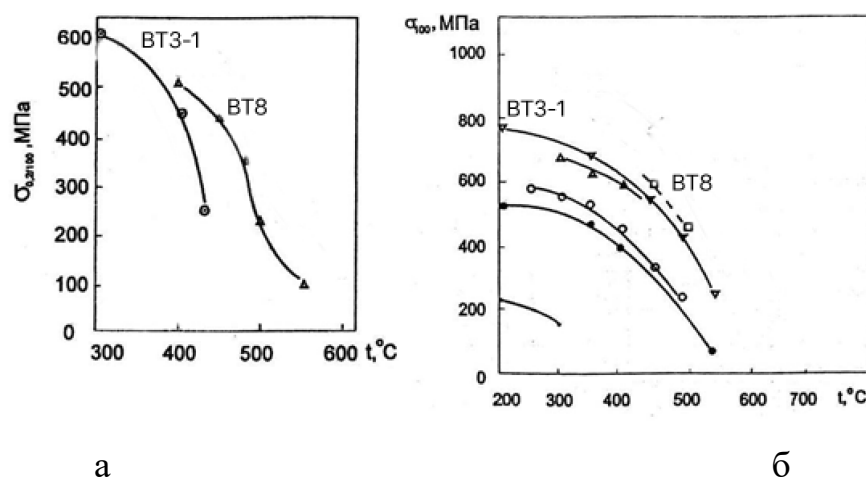


а – довготривала міцність (I – рівновісна структура; II – пластинчаста структура кошикового плетіння; III – пластинчаста пакетна структура), б – повзуість

Рисунок 3.9 – Вплив структури на властивості при 500°C сплава ВТ8.

Можно зробити висновок, що пластинчаста пакетна структура має більші показники довготривалої міцності, ніж дві попередні структури, при цьому залишкова деформація значно нижче ніж в рівновісній структурі.

На рисунку 3.10 наведене порівняння механічних властивостей двофазних титанових сплавів



а – вплив температури на межу повзучості, б – вплив температури на довготривалу міцність (100 год.)

Рисунок 3.10 – Механічні властивості двофазних титанових сплавів.

Межа повзучості у сплава ВТ8 значно вища за ВТЗ-1, на рисунку можна бачити що, при температурі 420°C, різниця складає в 50Мпа, що є досить суттєвим, оскільки це підвищує загальний ККД двигуна. Довготривала мацiнiсть також є більшою у сплава ВТ8, що гарно сказується на договiчностi та експлуатацiйній стiйкостi.

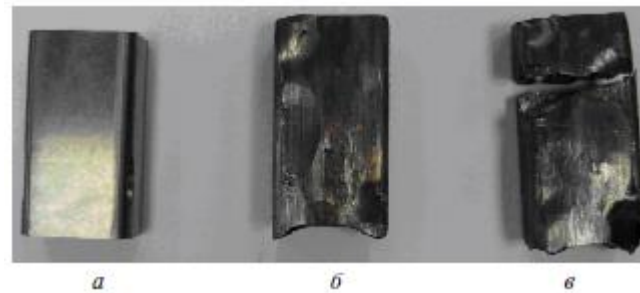
3.4 Результати дослідження використання метода гвинтової екструзії для сплава ВТ8

Застосування метода гвинтової екструзії для сплава ВТ8. Данний сплав доцільно використовувати для відповідальних деталей конструкцій ГТД. У таблиці 3.1 наведено режими деформації та результати досліджень для сплава ВТ8 після ГЕ.

Таблиця 3.1 – Вплив режиму деформації на механічні властивості сплаву ВТ8 після ГЕ

Температура нагріву	Відносна кількість рекристалізованих зерен	Відносна кількість СМК зерен з розміром менше 500нм	Микротвердість, Мпа
900	До 100	0	2215...2800
850	90	0	2700...3050
800	30	10	3230...4100
750	> 5	48%	3980...4220
700	-	>90%	4100...4280
650	Руйнування зразка		

Вид заготовок до і після реалізації ГЕ на розливних режимах представлена на рисунку 3.11.

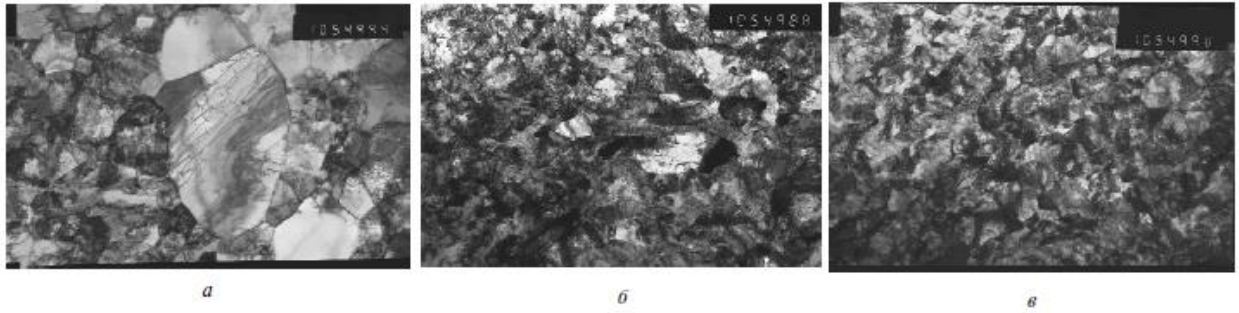


а – вихідна, б – ГЕ($T = 750 \dots 900^{\circ}\text{C}$), в – ГЕ($T = 650^{\circ}\text{C}$),

Рисунок 3.11 – Вид заготовок до та після процесу гвинтової екструзії.

Зниження температури деформації призвело до зменшення кількості рекристалізованих зерен і при 750°C , процес динамічної рекристалізації практично припинився. Зниження температури до 700°C , сприяло більшій деформаційній опрацювання структурних складових з розмірами менш 500Нм до 90%. При подальшому зниженні температури 650°C , встановлено появу невідповідностей, тріщин на поверхні заготовок, аж до руйнування заготовок в поперечному перерізі. У мікроструктурі сплавів деформованих при температурах $700 - 750^{\circ}\text{C}$, встановлено дроблення основних структурних складових.

В отриманій структурі відсутні характерні для стандартних сплавів кордону вихідних зерен на рисунку 3.12. Межі α фази є невеликими та нечіткими, що пов'язано з істотним зменшенням товщини кордонів, а також з появою когерентних площин між двома структурними складовими, що є наслідком високої рухливості атомів в процесі деформації.



а – вихідна, б – ГЕ($T = 750...900^{\circ}\text{C}$), в – ГЕ($T = 650^{\circ}\text{C}$),

Рисунок 3.12 - Характерні мікроструктури сплаву VT8 після ГЕ для різних діапазонів температур деформації.

Розмір фрагментів структури, отриманих при обробці ГЕ в зазначеному діапазоні температур склав $200 \dots 500\text{Нм}$. Беручи до уваги, що мінімальні розміри структурних складових знаходяться на рівні $200 \dots 500\text{Нм}$, згідно фундаментальним роботам, дану структуру можна віднести до субмікрокристалічної. Дослідження мікротвердості деформованої структури показало, що в заготовках розміром структурних складових менш 500Нм , мікротвердість становила 4280Мпа , що більш ніж в 1,5 рази вище, ніж у вихідному прутки.

Таким чином встановлено температурний інтервал $700 \dots 770^{\circ}\text{C}$, що дозволяє реалізувати процес ПД методом ГЕ для жароміцних титанових сплавів.

3.5 Отримання СМК структури за допомогою інтенсивної пластичної деформації

Останні роки характеризуються розвитком методів, що дозволяють сформувати субмікрокристалічної (СМК) або нанокристалічних (НК) структури в різних металевих матеріалах. Інтерес до матеріалів з такою

структурою, насамперед пов'язаний з їх унікальними фізико-механічними властивостями, які істотно відрізняються від властивостей матеріалів з дрібнозернистої або крупнозернистою структурою.

Для отримання СМК структури в титанових сплавах широко використовують інтенсивну пластичну деформацію (ІПД). В основі методів ІПД лежить можливість реалізації великих деформацій в умовах високих квазігідростатичних тисків. При цьому відбувається формування СМК структур за рахунок сильної фрагментації і розорієнтованістю структурних одиниць в ході реалізації ротаційних мод деформації.

Одним з методів формування СМК структур в масивних зразках з титанових сплавів, також відносяться до методів ІПД, є всебічне кування, зазвичай супроводжується динамічної рекристалізацією. При цьому для отримання субмікронного розміру зерен в об'ємних заготовках важливо попередньо отримати в них вихідну мартенситну структуру загартуванням з β -області. Сплав з такою мікроструктурою може бути підданий всебічній куванню при $T = 450 \dots 800^\circ\text{C}$ з великим ступенем деформації. Було показано, що після осідання сплаву з мартенситної структурою після деформації при $T = 550^\circ\text{C}$ сформувалася мікроструктура менш однорідна, ніж в інших випадках. У разі бімодальною структури тільки пластинчата складова трансформувалася в СМК структуру, а великі α -зерна витягнулися в напрямку деформації. Формування СМК структури в об'ємних заготовках з використанням всебічної кування дозволяє істотно підвищити характеристики міцності в порівнянні з вихідним станом.

Так, для сплаву ВТ8 в СМК стані $\sigma_B = 1400$ МПа, $d = 20$ %, в МК стані ($d = 5$ мкм) $\sigma_B = 1050$ МПа, $d = 20$ %. Для сплаву ВТ6 в СМК стані після всебічної ізотермічної ковки також спостерігається збільшення показників механічних властивостей від $\sigma_B = 1050$ МПа, $d = 9$ % до $\sigma_B = 1350$ МПа, $d = 8$ %.

Додаткова термічна або термомеханічна обробка заготовок після всебічної кування також може змінити механічні властивості матеріалів.

Таким чином, в результаті формування в титанових сплавах дрібнозернистих структур можна істотно поліпшити їх механічні властивості в широкому інтервалі температур. Застосування деформаційних методів (наприклад, всебічної кування) дозволяє сформувати СМК структуру, яка характеризується істотно більш високими значеннями міцності, але при деякому зниженні показників пластичності. Однак оптимізувати механічні властивості можна за допомогою наступних обробок.

Деформівний жароміцний титановий сплав системи Ti-Al-Mo-Si відноситься до двофазним сплавам зі структурою $\alpha + \beta$ мартенситного класу. Він перевершує сплав ВТ3-1 при 450 - 500°C.

Сплав ВТ8 забезпечує більш високі характеристики міцності і жароміцні властивості в порівнянні зі сплавом ВТ6 за рахунок високого вмісту алюмінію і легуванням кремнію. Максимальна робоча температура 480 0C. Сплави ВТ8-1 перевершує сплав ВТ3-1 по термічній стабільності, пластичності, технологічності і характеристикам тріщиностійкості.

Подвійний і ізотермічний відпал забезпечують оптимальне поєднання властивостей; зміст β - фази в відпаленому сплаві приблизно 10%. Сплав термічно зміцнюється. Основними виду напівфабрикату є прутки, поковки, штампування і плити. Задовільно деформується в гарячому стані. Технологічні властивості при обробці тиском гірше, ніж у сплаву ВТ6. Сварка не рекомендується. В основному застосовується в деталях ГТД (дисках, лопатках компресора низького тиску, деталях кріплення вентилятора).

Механічні властивості сплаву в залежності від температури випробування наведені на рисунку 3.13.



Рисунок 3.13 – Механічні властивості ВТ8 в залежності від температури випробування.

Отже, отримання СМК структури за допомогою ІПД є перспективним методом покращення механічних властивостей і дозволяє отримати технологічну стабільність деталей, що в свою чергу збільшує загальний ресурс роботи двигуна та ККД.

Використання данної технології має бути обґрунтованим відповідальністю деталей, через те що, є додаткові витрати на обладнання та сплав ВТ8 є більш коштовним через більший вміст легуючих елементів в порівнянні з ВТ3-1. Економічний ефект проаналізований у наступному розділі.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Тенденції розвитку світового ринку технологій

Ринок технологій є найважливішим фактором сучасної міжнародної економіки.

На ринку авіабудування зараз основна увага приділяється титановим сплавам. Вони мають високі показники міцності, корозійностійкості, циклічної витривалості та температурної стійкості. Це найважливіші властивості для складових елементів літаків. Отже замовники віддають пріоритет сплавам які мають задані вимоги, використання яких буде економічно вигіднішим у порівнянні з іншими.

Аналіз сучасних тенденцій у сфері авіабудування, дозволяють виділити одну з основних задач – підвищення потужності силових установок з одночасним зниженням їх маси. Рішення цієї задачі пов'язано з пошуком нових матеріалів, які мають високу питому міцності. Гарні перспективи для цього є у матеріалів з нано- та субмікрокристалічною (СМК) структурою, отриманні методами інтенсивної пластичної деформації методом гвинтової екструзії. Однак для даної технології несприятливим з точки зору отримання лопаток з сплавів в СМК стані, є операції по доведенні геометрії профілю пера та кромки лопатки, виконаним абразивними інструментами.

Дійсні на 2018 рік підприємства авіабудування та авіа-ремонт, та найбільші за товарообігом у промислових масштабах в Україні:

- державне підприємство "Антонов" (авіабудівна) 18
- Державне підприємство «Спеціалізована зовнішньоторговельна фірма «ПРОГРЕС» (ДП СЗТФ «ПРОГРЕС») (авіабудівна)
- державне підприємство «Мотор Січ» (авіабудівна).

Основними матеріалами для виготовлення лопаток є двофазні титанові сплави. У даній роботі було розглянуті сплави BT8 та BT3-1.

4.2 Техніко-економічні розрахунки

Метою цього розділу є обґрунтування доцільності використання ВТ8 після інтенсивної пластичної деформації замість ВТЗ-1. В таблиці 4.1 вказано техніко-економічні показники виробів.

Таблиця 4.1-Техніко-економічні показники виробів

Найменування виробу,	Базовий виріб	Новий виріб
Лопатка ГТД	ВТЗ-1	ВТ8
2. Технологія зміцнення	Інтенсивна пластична деформація методом гвинтової екструзії	Інтенсивна пластична деформація методом гвинтової екструзії з високошвидкісним фрезеруванням
3. Програма випуску, шт	100	100

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

Вартість сировини та основних матеріалів наведена в таблиці 4.2,4.3

Таблиця 4.2 – Вартість основних матеріалів при виготовленні лопатки із базового сплаву ВТЗ-1

Найменування сировини та основних матеріалів	Норма викорис- тання	Ціна	Вартість, грн
Сплав ВТЗ-1	6 кг	615 грн/кг	3690
Масило	0,5 л	360 грн/л	180
Разом	-	-	3870

Таблиця 4.3 – Вартість основних матеріалів при виготовленні лопатки із ВТ8.

Найменування сировини та основних матеріалів	Норма викорис- тання	Ціна	Вартість, грн
Сплав ВТ8	6 кг	634 грн/кг	951
Графітове мастило	0,5 л	360 грн/л	180
Разом	-	-	3984

В таблиці 4.4 наведено дані щодо основного обладнання та розрахунки амортизації.

Таблиця 4.4 – Основне обладнання та амортизація.

Найменування	Балансова вартість	Норм. строк експл.	Річна норма аморт.	Щорічна норма аморт.	Місячна сума амортиз.
СНО-7.9.4/9	25000	15 років	6,6%	1650	137,5
Екструдер	55000	15 років	6,6%	3630	302,5

Вартість купівельних комплектуючих виробів розраховується на основі норм використання й цін, з урахуванням транспортно – заготівельних витрат.

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

Розрахунок основної заробітної плати на одиницю продукції наведений в таблиці 4.5,4.6

Таблиця 4.5 -Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка) для ВТЗ-1

Найменування операції	Норма часу, годин	Розряд робіт	Часова тарифна ставка, грн.	Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка), грн.
Прогрівання заготовки до 800°C	1	V	60	60
ПД	2	V	70	140
Механічна обробка	1	V	70	70
Усього				270

Таблиця 4.6 - Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка) для ВТ8

Найменування операції	Норма часу, годин	Розряд робіт	Часова тарифна ставка, грн.	Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка), грн.
Прогрівання заготовки до 800°C	1	V	60	60
ПД	2	V	70	140
Швидкісне фрезерування	1	V	60	60
Усього				260

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

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

де K_d – процент додаткової заробітної плати.

$$ЗД = 270 \cdot \frac{40}{100} = 108 \text{ грн}$$

Відрахування на соціальні заходи являють собою форму перерозподілу доходу на фінансування суспільних потреб, розраховуються згідно діючого

законодавства і складають 22% від фонду оплати праці. Відрахування на соціальні заходи розраховуються за формулою:

$$BC = (ZO + ZD + PPP) \cdot \frac{K_{bc}}{100}, \text{ грн.}$$

де PPP – премії з прибутку, грн;

K_{bc} - % відрахування на соціальні заходи.

$$BC = (270 + 80 + 50) \cdot \frac{22}{100} = 88 \text{ грн}$$

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

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

$$ZBV = ZO \cdot \frac{\alpha}{100}, \text{ грн}$$

де α - % загально виробничих витрат.

$$ZBV = 270 \cdot \frac{400}{100} = 1080 \text{ грн}$$

Вищенаведені витрати складають виробничу собівартість.

Адміністративні витрати вміщують витрати, пов'язані з утриманням адміністративно - управлінського персоналу підприємства, а також утриманням та експлуатацією основних засобів загального виробничого призначення, охорону праці та техніку безпеки персоналу та інші. Адміністративні витрати складають в середньому 200% від основної заробітної плати основних виробничих робітників та розраховуються за формулою :

$$AB = 3O \cdot \frac{\beta}{100}, \text{ грн}$$

де β - % адміністративних витрат.

$$AB = 270 \frac{200}{100} = 540 \text{ грн}$$

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

$$B3 = C_v \cdot \frac{\gamma}{100}, \text{ грн}$$

де C_v – собівартість виробнича, грн;

γ - % витрат на збут .

$$B3 = 1816 \frac{2}{100} = 36,32 \text{ грн}$$

Прибуток складає 30% від повної собівартості і розраховується за формулою :

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

де Р – рентабельність виробу, %.

$$П = 2718,5 \cdot \frac{30}{100} = 815,5 \text{ грн}$$

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

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

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

$$ПДВ = 3534,05 \cdot \frac{20}{100} = 706,81 \text{ грн}$$

Ціна продажу виробу розраховується за формулою:

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

$$Ц_{\text{пр}} = 3534,05 + 706,81 = 4240,86 \text{ грн}$$

Розрахуємо основні показники для сплаву ВТ8:

$$ЗД = 260 \cdot \frac{40}{100} = 104 \text{ грн}$$

$$BC = (260 + 80 + 50) \frac{22}{100} = 87,1 \text{ грн}$$

$$ЗВВ = 260 \frac{400}{100} = 1040 \text{ грн}$$

$$AB = 260 \frac{200}{100} = 520 \text{ грн}$$

$$B3 = 1751,6 \frac{2}{100} = 35,03 \text{ грн}$$

$$\Pi = 2882,6 \frac{30}{100} = 964,6 \text{ грн}$$

$$\text{ПДВ} = 3747,2 \frac{20}{100} = 749,44 \text{ грн}$$

$$\text{Ц}_{\text{пр}} = 3488,68 + 697,73 = 4491,44 \text{ грн}$$

Калькуляція собівартості і ціни продукції наведена в таблиці 4.7

Таблиця 4.7 – Калькуляція і ціни продукції

Статті витрат	Сума виготовлення з ВТЗ-1, грн	Сума виготовлення ВТ8 з швидкісним фрезеруванням, грн
Сировина і основні матеріали	1102,5	1131
Купівельні комплектуючі вироби	-	-
Основна заробітна плата основних виробничих робітників	270	260
Додаткова заробітна плата основних виробничих робітників	108	104
Відрахування на соціальні заходи з заробітної плати основних виробничих робітників	88	87,1
Щорічна норма амортизації		5280
Загальновиробничі витрати	1080	1040
Собівартість виробнича	1552,6	1751,6
Адміністративні витрати	540	520
Витрати на збут	36,32	35,03
Собівартість повна	2718,5	2882,6
Прибуток	815,5	964,6
Ціна оптова	3534,05	3747,2
Податок на додану вартість	706,81	749,44
Ціна продажу	4240,86	4491,44

Економічна ефективність інноваційного проекту розраховується за показником економії експлуатаційних витрат :

$$E = \frac{C_n}{K} - C_b$$

де C_b – собівартість базового виробу

C_n – собівартість нового виробу

K – коефіцієнт експлуатаційного ресурсу

$$E = \frac{2882,6}{1,2} - 2718,5 = 316,43$$

В ході економічних розрахунків було визначено повну собівартість виготовлення лопатки з ВТ8 після ППД з швидкісним фрезеруванням, яка становить 2882,6 грн., прибуток в розмірі 964,6 грн., оптову ціну в розмірі 3747,2 грн., податок на додану вартість та ціну продажу які становлять 749,44 та 4491,44 грн. відповідно.

Сплав ВТ8 з швидкісним фрезеруванням має невеликий економічний ефект в порівнянні зі сплавом ВТ3-1 з звичайною механічною обробкою, але в якості заготовки в даному способі можуть бути використані прокати різного поперечного перерізу, та дозволяють отримувати заготовки з заданою СМК структурою, без значної зміни структури і властивостей.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз потенційних небезпек

В розділі наведені основні заходи з охорони праці при дослідженні структури та властивостей двофазних титанових сплавів

Потенційні небезпеки при роботі у дослідницької лабораторії:

а) не виконання вимог ергономіки в приміщеннях дослідницької лабораторії, внаслідок, що може привести до зниження працездатності, або механічних травм.

б) небезпеки, які пов'язані з використанням комп'ютера при виконанні дослідницької роботи

в) небезпека ураження електричним струмом, внаслідок недотримання норм електробезпеки або виходу з ладу електроприладів;

г) небезпеки, які пов'язані з визначенням хімічного складу матеріалів

д) можливість отримання механічних травм при підготовці зразків для проведення дослідження макро та мікроструктури з використанням абразивного інструменту НПАОП 28.0-1.30-12

е) небезпеки, які пов'язані з визначенням твердості, механічних та технологічних властивостей зразків, а саме:

- використання застарілого обладнання;

- порушення проведення випробувань;

є) небезпеки, які пов'язані з дослідженням структури металу методом металографії, з використанням електричних мікроскопів;

ж) небезпеки, які пов'язані з безпосереднім проведенням ТО або ХТО зразків або дослідницьких виробів а саме:

1) негативний вплив теплового випромінювання від нагрітих поверхонь, обладнання або виробів;

2) можливість отримання термічних опіків, внаслідок виплисків гартувального мастила, або при непередбачуваному торканні поверхні виробів;

3) можливість отруєння, що може бути пов'язано з використанням насичуваних атмосфер при ХТО;

4) можливість вибуху при порушеннях правил технік безпеки і при підготовці вуглець-умісних насичуваних амосфер;

з) незадовільний стан повітряного середовища, що мають негативний вплив на здоров'я робітника, внаслідок некоректного проектування системи вентиляції або її несправності;

и) несправність освітлення в робочій зоні, що має негативний вплив на зір та продуктивність роботи співробітника

і) Можливість загорянь внаслідок порушень правил з пожежної безпеки, що може призвести до пожежі.

й) Небезпеки яку пов'язані з умовами праці у надзвичайних ситуаціях, зокрема неправильна організація заходів що до проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт.

5.2 Заходи щодо забезпечення безпеки

а) Вимоги по ергономіці робочого місця наведено у ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общеэргономические требования» при організації робочого місця проектувальника забезпечують швидкість та ефективність роботи.

Конструктивне рішення щодо організації робочого місця обов'язково має забезпечити оптимальність усіх зон досяжності моторного та інформаційного полів.

Рекомендуються такі параметри: кут огляду має становити $30\text{—}40^0$ по відношенню до горизонталі робочого місця та $0\text{—}30^0$ вертикальній площині по

відношенню до горизонталі. Конструкцією робочого місця повинно бути забезпечено виконання трудових операцій в межах зони досяжності моторного поля

Форму робочої поверхні різного устаткування слід встановлювати з урахуванням характеру виконуваної роботи. Вона може бути прямокутною, мати виріз для корпусу працюючого або поглиблення для настільних машин і т.д. При необхідності на робочу поверхню слід встановлювати підлокітники.

Аварійні органи управління слід розташовувати в зоні досяжності моторного поля, при цьому необхідно передбачити спеціальні засоби розпізнавання і запобігання їх мимовільного і самовільного включення відповідно до ГОСТ 12.2.003-91.

б) Загальні вимоги до техніки безпеки при роботі на комп'ютері

Співробітники, що працюють за комп'ютером зобов'язані дотримуватися вимог інструкції, розробленої на підставі Санітарних норм і правил СанПин 2.2.2.542-96 « Гігієнічні вимоги до відео дисплейних терміналів, персональними електророзрахунковими машинами і організації робіт», а також нести особисту відповідальність за дотримання вимог безпеки своєї праці і за створення небезпечного чи шкідливого виробничого фактора для інших працюючих і помилку комп'ютера. Для запобігання статистичного навантаження при користуванні ПК рекомендовано використовувати перерви в роботі 10 хв. через кожні дві години.

Правил організації робочого місця:

- оптимальна висота клавіатури від підлоги – 65-75 см;
- наявність ергономічних і зручних особисто для вас миші і клавіатури;
- можливість регулювання висоти і нахилу клавіатури (відстань від поверхні стола до середини клавіатури – не більше 30 мм, кут підйому клавіатури – від 2° до 15°);
- наявність у клавіатури підставки для рук;
- наявність килимка для миші з захистом від тунельного синдрому (спеціальний виступ забезпечує правильне положення кисті);

- наявність стільця або крісла з підлокітниками

Комп'ютер є електричним приладом та на нього поширюються основні правила безпеки при взаємодії з провідниками струму:

- не можна контактувати з проводами, а також самостійно змінювати їх розташування без особливої потреби;
- уникати розташування рідин поруч з модулями комп'ютера;
- неприпустимо знімати корпус будь-якої із складових частин ПК під час його роботи;
- при роботі на комп'ютері не можна одночасно торкатися до інших металевих конструкцій, які стоять на тій же поверхні.
- при відчутті навіть незначного запаху гару, потрібно якомога швидше вимкнути ПК з мережі і звернутися до відповідального за обслуговування комп'ютерної техніки.

в) Для запобігання ураження електричним струмом, передбачено: електрообладнання має відповідати ГОСТ 12.1.019-79 « Система стандартів безпеки праці. Електробезпеки. Загальні вимоги і номенклатура видів захисту» та ПУЕ-2013. Експлуатацію електрообладнання та електроустановок потрібно проводити згідно з « Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів» та « Правил технічної безпеки при експлуатації електроустановок споживачів»:– ізоляція струмоведучих частин (робота, додаткова, посилена, подвійна) повинна відповідати ГОСТ 12.2.007-75 « Системи стандартів безпеки праці. Вироби електротехнічні. Загальні вимоги безпеки»;

- захисне відключення відповідно ГОСТ 12.2.007-75 «Системи стандартів безпеки праці. Вироби електротехнічні. Загальні вимоги безпеки»;
- відповідність електрообладнання відповідно ГОСТ 12.2.019-79 « Система стандартів безпеки праці. Вироби електротехнічні. Загальні вимоги і номенклатура видів захисту».

г) Заходи, щодо забезпечення безпеки, при визначенні хімічного складу матеріалів

Усі матеріали, які використовуються для дослідження повинні зберігатися на складі у сухих місцях з дотриманням усіх умов зберігання. Крім того слід стежити за шкідливими випарами, при травленні та різних хімічних реакціях. Приміщення повинно добре провітрюватися, мати відповідну вентиляцію. Співробітники повинні мати короткочасні перерви і виходити на повітря для запобігання потраплянню випарів до дихальних шляхів. Усі інструменти для дослідження (ПК, мікроскопи та ін.) повинні бути справними, інакше це може вплинути на результати досліджень.

д) Заходи, щодо безпеки при використанні абразивних інструментів

При абразивній обробці працівники повинні забезпечуватися респіраторами, захисними окулярами за ГОСТ 12.4.013-85 «ССБТ. Очки защитные. Общие технические условия» та іншими засобами індивідуального захисту відповідно до НПАОП 27.0-3.01-08.

Захисні пристосування, які застосовуються в процесі обробки, повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.2.009-80 «ССБТ. Станки металлообрабатывающие. Общие требования безопасности» (далі - ГОСТ 12.2.009-80). Загальні вимоги електробезпеки устаткування повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.018-93 «ССБТ. Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования». Обладнання та комунікації повинні бути заземлені від статичної електрики згідно з ДСТУ 7237:2011 «ССБП. Електробезпека.

Загальні вимоги та номенклатура видів захисту». Технологічне устаткування, що застосовується при обробці абразивним інструментом, повинне відповідати вимогам ГОСТ 12.2.003-91 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.2.009-80. ерстати повинні встановлюватися відповідно до вимог паспортів.

Кріплення верстатів повинне бути міцним і надійним. На робочому місці, де виконується робота кругами різного діаметра, на видному місці необхідно вивішувати табличку із зазначенням діаметра круга, його робочої швидкості та числа обертів у хвилину шпинделя верстата.

При укладанні заготовок, готових деталей та інших матеріалів на робочому місці повинна забезпечуватися їх стійкість і зручність стропування при застосуванні вантажопідйомних пристроїв. Окриття верхньої частини столу (металеві, фіброві та інші аркуші) не повинні виступати за габарити столу та мати гострих кутів. Гвинти, що кріплять покриття столів, повинні бути з потайними голівками. Для розміщення дрібних заготовок та готових деталей на робочому місці повинна бути передбачена спеціальна тара, що допускає безпечне транспортування і зручне зачалування при підйомі краном.

е) проводити екранування зони випробувань. При визначенні твердості велике значення має підготовка зворотньої поверхні зразка. Використання індивідуальних способів захисту: окуляри, спецодяг.

є) Зокрема негативний вплив потужного випромінювання на клітинному рівні, що може призвести до зниження імунітету та до імунних захворювань. Тому найбільш небезпечним є використання сучасного обладнання, конструкція якого вимикає більшість негативних чинників, які шкідливі для людини.

Негативний вплив електромагнітних хвиль та випромінювань полягає у зміні внутрішніх органів клітин людини. В якості заходів забезпечення захисту необхідно: захист часу, захист відстанню, використання екрануючих пристроїв, які поділяються на механічні та електронні та використання додаткових джерел електромагнітного поля, яке знижує фокусацію робочого електромагнітного поля, або випромінювання;

ж) Заходи захисту при ТО та ХТО: - для попередження негативного впливу теплового випромінювання та термічних опіків передбачено використання індивідуальних засобів (окуляри, спецодяг, рукавиці); - з огляду на великий ступінь небезпеки при використанні насичувальних газів, що може бути пов'язано з відсутністю запаху та кольору цих газів на ділянці обов'язковим є встановлення автоматичних газоаналізаторів (ЩИТ-3М); - при перевищенні небезпечної концентрації газів прилад подає попереджувальні звуковий та світловий сигнали про небезпеку; - один раз на добу обов'язкова

перевірка герметичності з'єднань магістральних трубопроводів; - обов'язковим є наявність лабораторної індивідуальних засобів захисту в період виникнення аварійних ситуацій (расператори, протигази, напівмаски); - улаштування місцевої витяжної вентиляції . досконале знання процесу та інструкції з експлуатації обладнання.

5.3 Заходи щодо виробничої санітарії та гігієни праці

У системі законодавчих актів щодо гігієни праці ключове місце посідає Закон України «Про забезпечення санітарного епідеміологічного благополуччя населення». Стаття 7 цього Закону - «Обов'язки підприємств, установ, організацій» - передбачає розробку і здійснення адміністрацією підприємств санітарних та протиепізоотичних заходів щодо умов праці стосовно рівнів чинників виробничого середовища; інформацію санітарно-епідеміологічної служби щодо надзвичайних подій і ситуацій, що становлять небезпеку для здоров'я населення; відшкодування збитків.

Забезпечення санітарного благополуччя досягається такими заходами:

- гігієнічна регламентація та державна реєстрація шкідливих чинників виробничого і навколишнього середовища;
- державна санітарно-гігієнічна експертиза проектів технологій, діючих об'єктів на відповідальність їх санітарним нормам;
- включення вимог безпеки щодо здоров'я до державних нормативних актів;
- ліцензування видів діяльності, пов'язаних з потенційною небезпекою для здоров'я людей;
- гігієнічне обґрунтування проектів, будівництв, розробки, виготовлення та використання нових засобів виробництва та технологій;

- пред'явлення гігієнічно обґрунтованих вимог до житлових, діючих засобів виробництва та технологій тощо;
- обов'язкові медичні огляди певних категорій працівників і ін.

Нормативними актами з гігієни праці є постанови та положення (норми), затверджені МОЗ України, наприклад Положення про медичний огляд працівників певних категорій.

У системі заходів із забезпечення безпеки праці велике значення мають запобіжний і поточний санітарні нагляди, які здійснюють установи та заклади Державної санітарно-епідеміологічної служби.

Відповідно до ГОСТ 12.0.002-80 розрізняють на підприємстві є 2 основних фактора трудової діяльності:

Фізичні - мікроклімат і запиленість повітряного середовища, всі види випромінювань, вібрація, шум, освітленість, рівень статичної електрики, рухомі елементи машин і механізмів, гострі краї, жорсткість поверхні деталей, інструментів та обладнання тощо;

Хімічні - луги, кислоти та інші хімічні речовини;

Оцінка умов праці проводиться на підставі "Гігієнічної класифікації умов праці за показниками шкідливості та небезпечності чинників виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу", згідно з якою умови праці належать до 3 класу:

Шкідливі умови праці - характеризуються наявністю шкідливих виробничих факторів, що перевищують гігієнічні норми і здатні чинити несприятливий вплив на організм працюючого (або його нащадків)

з) Оптимальна відносна вологість при температурі 21-23 °С становить 40-60%.

Оскільки організм людини здатний до самотерморегуляції, безпечною температурою навколишнього середовища при сухому повітрі (менше 60% вологості) вважається 100°C, а при вологому повітрі (понад 75% вологості) - 50°C. Наявність одягу знижує небезпечний вплив підвищеної температури, а

наявність спеціальних засобів захисту (тепловідбивний костюм) може збільшити допустимі параметри температури у 3-4 рази.

Максимальний об'єм вентиляованого повітря у приміщенні має бути таким, щоб кратність його заміни була не більшою 5 разів за годину, а швидкість руху - 0,2-0,5 м/с. Людина відчуває рух повітря зі швидкістю 0,1 м/с.

Нормалізація параметрів мікроклімату здійснюється за допомогою комплексу заходів і засобів колективного захисту, які включають будівельно-планові, організаційно-технологічні, санітарно-гігієнічні, технічні та інші. Для профілактики переохолоджень та дії високої температури використовують засоби індивідуального захисту. Нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату для робочої зони виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99 та ГОСТ 12.1.005-88.

Допустима норма вуглекислого газу в приміщенні - 0,1-0,2%, на робочих місцях - до 0,5%.

При роботі припливно-витяжної вентиляції необхідно, щоб кількість повітря, що надходить ззовні, не перевищувала або була на 10-15% меншою від кількості повітря, що видаляється витяжними пристроями.

Ефективність вентиляції залежить від різниці зовнішньої і внутрішньої температури, від правильного розміщення і площі поперечного перетину витяжних і припливних каналів. Припливні канали розміщуються у верхній частині поздовжніх стін на 40-45 см нижче горіщного перекриття у шаховому порядку між вікнами, а витяжні - у стелі з виходом на гребінь покрівлі.

и) Санітарні та гігієнічні норми щодо освітлення виробничих приміщень, котрі базуються на психофізіологічних особливостях сприйняття світла та його вплив на організм людини, можуть бути зведені до наступного:

- рівень освітлення повинен бути достатнім, відповідати характеру зорової роботи і не нижчим встановлених гігієнічних норм;
- спектральний склад світла, який забезпечується електронним джерелом, повинен бути близьким до сонячного;

- освітленість повинна бути достатньо рівномірною та постійною, щоб запобігти частій переадаптації та втоми органів зору;
- між об'єктом та фоном має бути певна контрастність;
- на робочій поверхні не створювати різких та глибоких тіней.

Роззрахуємо освітленість приміщення. Розміри приміщення: довжина $a = 10$ м, ширина $b = 8,5$ м, висота $H = 2,5$ м. Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $\rho_{\text{стелі}} = 70\%$, $\rho_{\text{стін}} = 50\%$. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,725$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ—15, які підвішуються до стелі; відстань від світильника до стелі $h_c = 0,5$ м. Мінімальна освітленість за нормами $E = 200$ лк.

Визначаємо висоту підвісу світильників над підлогою:

$$h_0 = H - h_c = 2,5 - 0,5 = 2 \text{ м.}$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНиП II-4-79 повинна бути $2,0—4,0$ ж, залежно від характеристики світильника. В нашому випадку h_0 відповідає цій вимозі.

Висота підвісу світильника над робочою поверхнею дорівнює:

$$h = h_0 - h_p = 2 - 0,5 = 1,5 \text{ м.}$$

Рівномірність освітлення досягається при відповідному співвідношенні відстані між світильниками L , і висоти їх підвісу h . Визначимо рекомендовану відстань між світильниками:

$$I = 0,7h = 0,7 * 1,5 = 1,05 \text{ ж.}$$

Необхідна кількість світильників становить:

$$N = \frac{ab}{L^2} = \frac{10 * 8,5}{1,05^2} = 32$$

Приймаємо 32 світильники, враховуючи розміри приміщення розміщуємо їх у два ряди по 16 штук.

Показник приміщення i становить:

$$i = \frac{ab}{h(a+b)} = \frac{10*8,5}{1,5(10+8,5)} = 2,98$$

Коефіцієнт використання $\eta = 0,66$ для світильника УПМ-15 при $i = 3$, $p_{СТЕЛЛ} = 70\%$, $p_{СТУП} = 50\%$.

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику встановлюється лише одна лампа, дорівнює

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{ESK_3Z}{N\eta} = \frac{200*85*1,3*1,15}{32*0,66} = 1203\text{лм.}$$

Вибираємо лампу ЛБ-20 потужністю 20 Вт, світловий потік якої становить 1200 лм.

Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$\Sigma P_{\text{СВ}} = P_{\text{СВ}} N = 20 * 32 = 640\text{Вт}$$

Основні способи захисту від ЕМП: колективний захист, що включає організаційні, технічні та лікувально-профілактичні заходи, й індивідуальний захист. Організаційні заходи захисту включають:

- заборону допуску до роботи підлітків до 18 років, осіб, що страждають на хвороби серця, крові, нервової системи, очей;

- проведення щорічних медоглядів, надання додаткової відпустки та скороченого робочого дня;
- раціональне розташування обладнання;
- встановлення оптимального режиму роботи обслуговуючого персоналу.

Технічні заходи захисту реалізуються використанням здатності полів рефлектуватись (відбиватись) або поглинатись.

Допустимі рівні шуму та еквівалентні рівні шуму на робочих місцях, у виробничих приміщеннях і на території підприємства регламентуються ДСН 3.3.6.077-99. Максимальний рівень шуму, що коливається в часі та переривається, не повинен перевищувати 110 дБ, а максимальний рівень для інтенсивного шуму не повинен перевищувати 125 дБ.

5.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

5.4.1 Заходи з пожежної безпеки

і) На кожному підприємстві з урахуванням його пожежної небезпеки наказом (інструкцією) повинен бути встановлений відповідний протипожежний режим, у тому числі визначені:

- можливість паління (місце для куріння), застосування відкритого вогню, побутових нагрівальних приладів;
- порядок проведення тимчасових пожежонебезпечних робіт (у тому числі зварювальних);
- правила проїзду та стоянки транспортних засобів;
- місця для зберігання і допустима кількість сировини, напівфабрикатів та готової продукції, які можуть одночасно знаходитися у виробничих приміщеннях і на території (у місцях зберігання);

- порядок прибирання горючого пилу й відходів, зберігання промасленого спецодягу та ганчір'я, очищення повітроводів вентиляційних систем від горючих відкладень;

- порядок відключення від мережі електрообладнання у разі пожежі;

- порядок огляду й зачинення приміщень після закінчення роботи;

- порядок проходження посадовими особами навчання й перевірки знань з питань пожежної безпеки, а також проведення з працівниками протипожежних інструктажів та занять з пожежно-технічного мінімуму з призначенням відповідальних за їх проведення;

- порядок організації експлуатації і обслуговування наявних технічних засобів протипожежного захисту (протипожежного водопроводу, насосних станцій, установок пожежної сигналізації, автоматичного пожежогасіння, димовидалення, вогнегасників тощо);

- порядок проведення планово-попереджувальних ремонтів та оглядів електроустановок, опалювального, вентиляційного, технологічного та іншого інженерного обладнання;

- дії працівників у разі виявлення пожежі;

- порядок збирання членів добровільної пожежної дружини та відповідальних посадових осіб у разі виникнення пожежі, виклику вночі, у вихідні й святкові дні.

Необхідність забезпечення планами (схемами) евакуації одноповерхових будівель та споруд визначається місцевими органами державного пожежного нагляду, виходячи з їх пожежної небезпеки, кількості розміщуваних людей, площі тощо.

Категорія приміщення (згідно із НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою») – визначається як категорії Д.

Визначення типу та розрахунок кількості первинних засобів пожежогасіння (згідно із ДБН В.1.1.7-2002 «Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва») – для адміністративного приміщення площею

20,91 м² слід застосовувати два порошкових вогнегасниками типу ВП–5 (НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою». ДБН В.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва»). Крім цього адміністративні приміщення повинні бути обладнані автоматичними пожежними сповіщувачами, що реагують на підвищення температури, дим, полум'я. Наприклад, сповіщувачі моделей ДТЛ, ІТМ.

5.4.2 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

ї) Розроблення та впровадження в життя заходів із запобігання та ліквідації надзвичайної ситуації в разі її виникнення залежатиме життя та здоров'я персоналу та відвідувачів цих підприємств і розміри заподіяної шкоди.

Відповідно до Кодексу цивільного захисту України, підготовка персоналу на підприємствах незалежно від форм власності до дій у надзвичайних ситуаціях здійснюється за спеціально розробленою схемою заходів захисту населення та територій.

Для великих і малих підприємств (яким є офісне приміщення) система заходів захисту від надзвичайних ситуацій включає:

- планування та здійснення необхідних заходів для захисту своїх працівників, об'єктів господарювання;
- розроблення планів локалізації та ліквідації аварій з подальшим погодженням з Державною службою України з надзвичайних ситуацій;
- створення та підтримання матеріальних резервів для попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій;
- забезпечення своєчасного оповіщення своїх працівників про загрозу виникнення або при виникненні надзвичайної ситуації.
- вимоги щодо забезпечення техногенної безпеки, зокрема заборони дій, що можуть призвести до виникнення аварії або надзвичайної ситуації техногенного характеру на об'єкті;
- навчання діям в умовах виникнення аварії або надзвичайної ситуації техногенного характеру;
- оповіщення чергових аварійно-рятувальних служб та керівництва об'єкта про аварію (надзвичайну ситуацію техногенного характеру);

- залучення основних технічних засобів, що використовуватимуться для локалізації або ліквідації наслідків аварії (надзвичайної ситуації техногенного характеру), зокрема у разі виникнення пожежі;

- використання ЗІЗ ОД або колективних засобів захисту, що застосовуються під час викиду (випливу) небезпечних хімічних речовин;

- надання індивідуальної домедичної допомоги постраждалим;

- вимоги щодо організації спостереження за розвитком аварії (надзвичайної ситуації техногенного характеру), збору та передання інформації про її розвиток, зокрема про оцінку масштабів аварії (надзвичайної ситуації техногенного характеру), зони розповсюдження тощо.

Всі працівники підприємства повинні бути навчені діям, чітко знати свої обов'язки та неухильно їх виконувати. Це також стосується адміністрації малого підприємства, яка в екстремальній обстановці не може приймати помилкові рішення або віддавати необґрунтовані розпорядження.

ВИСНОВКИ

При виконанні дипломної роботи були розглянуті двофазні титанові сплави. Досліджено особливості структури і їх механічних властивостей, зокрема сплавів ВТЗ-1 та ВТ8. ВТЗ-1 є базовим сплавом з якого розпочалося авіабудування і його часто використовують у відповідальних деталях ГТД. Він має гарні показники механічних властивостей і є не дорогим. Недоліком цього сплаву є невеликий ресурс роботи, частий відказ і передчасне руйнування деталей. Сплав ВТ8 дозволяє значно збільшити ресурс роботи деталі при невеликому збільшенні витрат на матеріал.

Для обох сплавів застосовують інтенсивну пластичну деформацію з метою отримання СМК структури, але для сплаву ВТ8 додатково пропонується в якості механічної обробки швидкісне фрезерування.

Застосування деформаційних методів (наприклад, всебічної кування) дозволяє сформувати СМК структуру, яка характеризується істотно більш високими значеннями міцності, але при деякому зниженні показників пластичності.

В цілому дана схема дозволяє отримувати заготовки безпосередньо із злитків жароміцних титанових сплавів з заданої СМК структурою і подальшим формоутворенням профілю лопатки без істотної зміни структури і властивостей.

Сплав ВТ8 доцільно застосовувати для відповідальних деталей ГТД з метою збільшення їх ресурсу роботи та уникнення предчасного руйнування

Для виробництва не відповідальних деталей, або якщо сплав ВТЗ-1 задовільняє заданим вимогам доцільніше використовувати саме його, з метою підвищення економічного ефекту та уникання недоцільного використання матеріалу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Биба Є.Г. Формування структури та механічних властивостей конструкційних титанових сплавів : монографія. Київ : КІУ, 2016. 258с.
2. Антонюк С.Л. Розробка і впровадження вискоміцного титанового сплаву для зварних конструкцій авіаційного призначення: монографія. Київ : КТНЖ 2006. 150с.
3. Березін В.Б., Ковбаса В.П., Пилипенко А.П. Деформаційний спосіб зміни вихідної структури двофазних титанових сплавів : довідник. Київ, 2016. 315с.
4. Шаповалова О.М., Маркова І.А., Суспенкова С.В. Способи термічної обробки титанових сплавів : посібник. Дніпро, 2003. 315с.
5. Хорев А.И. Разработка титановых сплавов методом комплексного легирования. М. Металлургия, 2006. 325с.
6. Т.В. Павлова Титановые сплавы для ГТД. М. Металлургия, 2011. 267с.
7. Гецов Л.Б. Материалы и прочность газовых турбин : монография. Москва, 1996. 125с.
8. Богуслаев В.А., Муравченко Ф.М., Жеманюк П.Д. Технологическое обеспечение эксплуатационных деталей ГТД : посібник. Запорожье, 2003. 496с.
9. В.В. Шашкина. Авиационные ГТД в наземных установках : справочник. Ленинград : ЛИ, 1984. 236с.
10. А.Г.Илионов, А.А.Попов. Технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов: довідник. Екатеринбург, 2014. 231с.
11. Механічні властивості сплаву VT8 AUREMO: веб-сайт. URL: <https://www.auremo.org/materials/splav-vt8.html> (дата звернення: 12.10.2019).
12. Справочник по цветным металлам: веб-сайт. URL: <https://libmetal.ru/titan/titan%20osnprop.htm> (дата звернення: 11.11.2019).

13. Химушин Ф.Ф. Жаропрочные стали и сплавы. М. Металлургия, 1969. 448с.
14. Шалина Р.Е. Жаропрочные сплавы для газовых турбин: учебное пособие. Москва : МТИ, 1981. 481с.
15. С.Г. Глазунова Деформация и свойства материалов для авиационной и космической техники : монография, Ленинград : РТИ, 1982. 374с.
16. С.Г.Глазунов, К.К.Ясинский. Титановые сплавы для авиационной техники и других отраслей промышленности : учебное пособие. Москва, ВИАМ, 1993 90с.
17. Абианц В.Х. Теория авиационных газовых турбин. монография. Москва : ТИОС, 1953. 216с.
18. Алабин М.А., Кац Б.М., Литвинов Ю.А. Запуск авиационных газотурбинных двигателей. М. Машиностроение, 1968. 228с.
19. Коссов М.А., Бокарев А.А., Греков Л. И. Техничко-экономическая эффективность применения газотурбинных двигателей : учебное пособие. Москва : ЭТМ, 1971. 271с.
20. Биргер И.А. Конструкционная прочность материалов и деталей газотурбинных двигателей. М. Машиностроение, 1981. 222с.

ДОДАТОК А

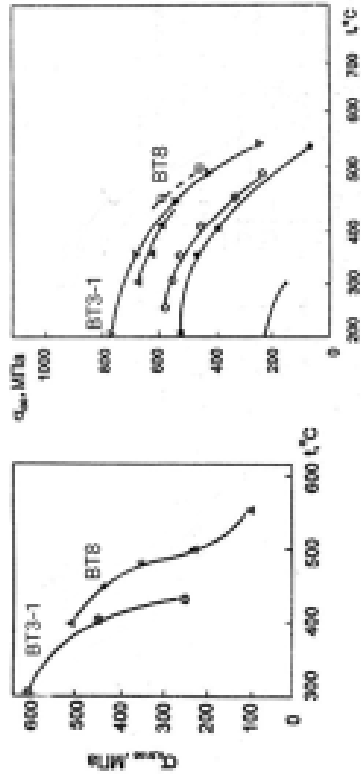
Хімічний склад та механічні властивості
титанових сплавів

Марка сплаву	Легуючі елементи, % (основа - Ti)						
	Al	Sn	Zr	Mo	V	Si	Inші
BT3-1	5,5-7,0	-	-	2,0-3,0	-	0,15-0,40	Cr 0,8-2,0
BT8	5,8-7,0	-	-	2,8-3,8	-	0,20-0,40	Fe 0,2-0,4

Марка сплаву	Діаметр, мм	Тимчасовий опір, МПа	Відносне		Ударна в'язкість (КСУ), Дж / см ²
			видовження	звуження	
BT3-1	< 50	980-1180	12	35	30 (3,0)
BT8	< 60	1030-1226	9	30	29

Механічні властивості та залежності короткочасного опору від температури сплавів

Марка сплаву	Температура випробування °C	Механічні властивості		
		Тимчасовий опір, МПа	Довготривала міцність	
			Постійне прикладене напруження, МПа	Тривалість випробування, год, не менше
BT3-1	400°C	685	685	50
			665	100
BT8		815	785	50
			765	100



Дослідження причини руйнування лопатки з сплаву ВТ8



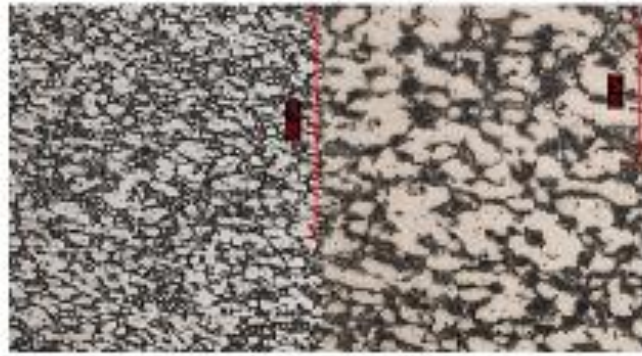
Вид лопатки з тріщиною



Вид тріщини, що розкрилась з боку корита



Вид зламу



Мікроструктура

Вплив режиму деформації на структуру

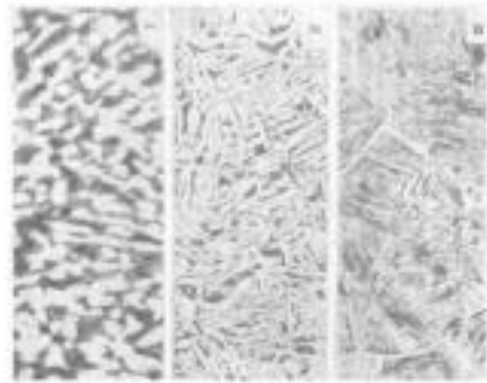
Температура нагріву	Відносна кількість рекристалізованих зерен	Відносна кількість зерен з розміром менше 500нм	Мікротвердість, МПа
900	До 100	0	2215...2800
850	90	0	2700...3050
800	30	10	3230...4100
750	> 5	48%	3980...4220
700	-	>90%	4100...4280
650	Руйнування зразка		





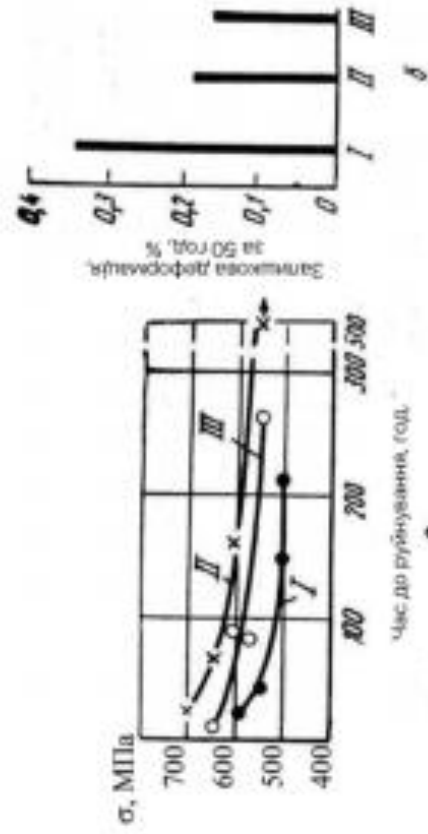
Характерні мікроструктури сплаву BT8 після ГЕ для різних діапазонів температур деформації.

Вплив деформації на структуру та властивості сплаву ВТ8



I – тип - рівновісна $\alpha + \beta$; II – тип кошикового плетіння; III – тип грубогольчата

Основні типи мікроструктур двофазних титанових сплавів, отриманих при різних умовах деформування



а – довготривала міцність, б – повзучість

Вплив структури на властивості при 500°C сплава

ВТ8

Отримання СМК структури методом ІПД з гвинтовою екструзією для сплаву ВТ8



а – вихідна, б – ГЕ($T = 750 \dots 900^\circ\text{C}$.), в – ГЕ($T = 650^\circ\text{C}$.)

Вид заготовок до та після процесу гвинтової екструзії:

