

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет
(повне найменування факультету)

Фізичне матеріалознавство
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

бакалавр
(ступінь вищої освіти)

на тему Дослідження впливу термічної обробки на властивості диску газової турбіни, виготовленого із залізо-нікелевого сплаву з метою підвищення його властивостей.

(назва теми)

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи ІФ 219

Спеціальності 132 Матеріалознавство
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Прикладне матеріалознавство

ЦИГАНЕНКО Д.Р.
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ФАСОЛЬЄ О.
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент _____
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Інженерно – фізичний

Кафедра Фізичне матеріалознавство

Ступінь вищої освіти бакалавр

Спеціальність 132 Матеріалознавство

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Прикладне матеріалознавство

(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 20 ____ року

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

ЦИГАНЕНКО Данило Романович

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Дослідження впливу термічної обробки на властивості диску газової турбіни, виготовленого із залізо-нікелевого сплаву з метою підвищення його властивостей.

керівник проєкту (роботи) ст. викладач ФАСОЛЬ Єлизавета Олександрівна,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «18» квітня 2023 року № 122

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) ескіз диску, марка сплаву ХН35ВТ

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) характеристика та умови експлуатації виробу. вимоги до матеріалу, номенклатура виробів та маршрутна технологія їх виготовлення, характеристика матеріалів виробів, розробка режимів та технології термічної обробки, технічний контроль попередження та виявлення дефектів, технічний контроль попередження та виявлення дефектів, спеціальна частина

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів)

Ескіз диску газової турбіни, номенклатура, графік термічної обробки диску, види дефектів виробів із залізо-нікелевих сплавів при проведенні то та їх усунення

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	ФАСОЛЬЄ.О, ст.викладач		
2	ФАСОЛЬЄ.О, ст.викладач		
3	ФАСОЛЬЄ.О, ст.викладач		
4	ФАСОЛЬЄ.О, ст.викладач		
5	ФАСОЛЬЄ.О, ст.викладач		
6	ФАСОЛЬЄ.О, ст.викладач		
7	ФАСОЛЬЄ.О, ст.викладач		
	ТКАЧ Д.В, доцент, к.т.н		

7. Дата видачі завдання «_____» _____20__року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Характеристика та умови експлуатації виробу. Вимоги до матеріалу		
2	Номенклатура виробів та маршрутна технологія їх виготовлення		
3	Характеристика матеріалів виробів		
4	Розробка режимів та технології термічної обробки		
5	Технічний контроль попередження та виявлення дефектів		
6	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях		
7	Спеціальна частина		

Студент(ка)

(підпис)

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи: 60 с., 9 табл., 14 рис., 16 джерел

ДИСК, Fe-Ni-СПЛАВ, ЖАРОМІЦНІСТЬ, УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ, ЛЕГУВАЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ, МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ, ТЕРМІЧНЕ ОБРОБЛЕННЯ, КОНТРОЛЬ

Об'єкт розробки – диск газової турбіни зі сплаву ХН35ВТ

В дипломній роботі розробляється технологія технологічний процес, зокрема режим термічної обробки для диска газової турбіни, виготовленого із залізо-нікелевого сплаву, з урахуванням умов експлуатації та вимог до матеріалу. Було зроблено:

- розроблено технологію технологічного процесу для диска газової турбіни, який виготовлений із залізо-нікелевого сплаву.
- враховано умови експлуатації та вимоги до матеріалу при розробці технології.
- встановлено режим термічної обробки для диска газової турбіни.
- проведено аналіз і вивчення вимог, що стосуються матеріалу і умов експлуатації.
- виконано випробування та оцінку результатів розробленої технології.
- оптимізовано процес термічної обробки для забезпечення найкращих властивостей диска газової турбіни.
- здійснено порівняння розробленої технології з існуючими підходами та визначено її переваги та недоліки.

При виконанні дипломної роботи вирішуються такі питання:

- аналізуються умови експлуатації виробу та вимоги до матеріалу, аргументується вибір сплаву, що найбільш повно задовольняє цим вимогам;

- аналізується обраний матеріал, його технологічні, механічні та експлуатаційні властивості, а також вплив компонентів на формування структури та властивості матеріалу.

- з використанням довідкової, науково-технічної та навчальної літератури обґрунтовується вибір технології термічної обробки, що забезпечує отримання оптимальних властивостей матеріалу робочої диску газової турбіни;

- розробляється технологічна карта термічної обробки, вибираються необхідні параметри процесів (операцій) та засоби контролю якості виробів при термічній обробці (інструменти, пристосування, прилади, обладнання)

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки.....	7
Вступ.....	8
2 Номенклатура виробів та маршрутна технологія їх виготовлення	13
3 Характеристика обраного матеріалу	16
4 Розробка режимів та технології термічної обробки	27
5 Технічний контроль, попередження та виправлення дефектів.....	38
6 Охорона праці та безпека життєдіяльності	42
6.1 Оцінка потенційних ризиків:.....	42
6.2 Заходи щодо забезпечення загальної безпеки:	43
6.3 Заходи щодо забезпечення санітарії виробництва та гігієни праці.....	47
6.4 Заходи щодо пожежної безпеки:	49
7 Спеціальна частина	51
Висновки	55
Перелік джерел посилань	56
Додаток А.....	56
Додаток Б	60

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧКИ

σ_T – границя плинності;

σ_B – границя міцності;

δ_5 – відносне видовження;

ψ – відносне звуження;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

л.е. – легувальні елементи;

ТО – термічна обробка;

ВСТУП

Газові турбіни є одними з найбільш поширених та ефективних пристроїв для перетворення енергії газу в механічну роботу. Вони використовуються в різних галузях промисловості, таких як авіація, енергетика та морський транспорт. Одним з ключових елементів газової турбіни є диск, який забезпечує передачу обертального моменту від ротора до компресора та турбіни. Високі температури, тиск та швидкість обертання, які виникають під час роботи газової турбіни, вимагають використання високоякісних матеріалів для виготовлення диска.

Одним з таких матеріалів є сплав ХН35ВТ, який відноситься до класу жаростійких залізо-нікелевих сплавів. Цей сплав характеризується високою міцністю, жаростійкістю та корозійною стійкістю, що робить його ідеальним матеріалом для виготовлення дисків газових турбін. Однак, для забезпечення надійності та довговічності диска, необхідно провести дослідження його властивостей та термічної обробки.

У даній роботі ми зосередимося на дослідженні диска газової турбіни, створеного зі сплаву ХН35ВТ. Метою роботи є вивчення механічних, термічних та корозійних властивостей сплаву, а також аналіз його структури та мікроструктури. Ми також розглянемо можливі методи покращення властивостей сплаву шляхом термічної обробки.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИРОБУ

ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛУ

В даному розділі дипломного проекту розглядаються умови експлуатації деталі газової турбіни - диску, на якому розташовані робочі лопатки та принцип роботи газової турбіни

Диск в газовій турбіні є однією з найбільш критично важливих деталей, так як він відповідає за перетворення енергії газу в механічну енергію, яка потім використовується для приводу генератора або іншого навантаження. У процесі роботи газової турбіни диск піддається величезним навантаженням, які можуть призвести до його руйнування, якщо він не виготовлений з матеріалів високої міцності і не відповідає вимогам експлуатації.

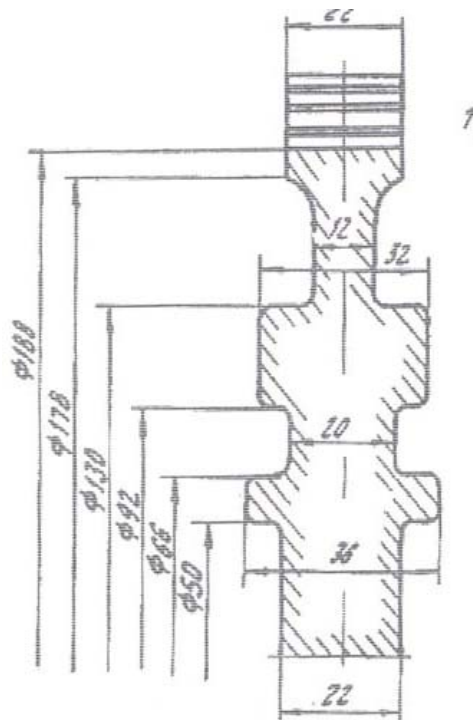


Рисунок 1.1 – Диск газової турбіни

Диск є однією з найбільш навантажених деталей газової турбіни. Під час роботи газової турбіни газу, що подаються в неї, проходять через лопатки

турбіни, при цьому вони набувають високої швидкості обертання. Коли газ потрапляють на лопатки диска, вони стикаються з ними і передають на диск силу, що виникає в результаті векторної сили, спрямованої від центру обертання, яка діє на нього. Більше того, диск також піддається термічним навантаженням, так як він знаходиться всередині камери згорання, де відбувається згорання палива. Температура газів, що проходять через камеру згорання, може досягати дуже високих значень до 700-800 °C, що може призвести до деформації диска.

Ці етапи можуть відрізнятися залежно від виробника та типу газової турбіни..

Створення диска для газової турбіни - це складний технологічний процес. Диск повинен бути виготовлений з матеріалів високої міцності, таких як сплави нікелю, які мають високу температурну стійкість і можуть витримувати величезні навантаження у процесі роботи газової турбіни.

Основні вимоги диску газової турбіни можна виразити наступним чином:

- передача енергії: диск у газовій турбіні відіграє ключову роль передачі енергії від газового струменя, що проходить через турбіну, до валу турбіни. Це відбувається завдяки силовому впливу газового струменя на лопатки диска, які потім передають цю енергію на вал.

- надійність та безпека: диск є однією з найбільш критичних деталей у газовій турбіні, оскільки він піддається високим навантаженням та обертається на дуже високій швидкості. Диск має бути дуже надійним та безпечним, щоб запобігти можливим аваріям та поломкам у газовій турбіні.

- взаємодія з іншими деталями: диск повинен бути точно налагоджений та узгоджений з іншими деталями у газовій турбіні, такими як лопатки та вал, щоб забезпечити оптимальну роботу турбіни та максимальну ефективність.

Диск є однією з ключових деталей у газовій турбіні, і його виробництво та експлуатація вимагають високої точності, технологічних можливостей та ретельного контролю якості.

Умови експлуатації диска газової турбіни:

-температура: диск повинен бути здатний витримувати дуже високі температури, які можуть сягати до 700°C в зоні камери згоряння. Проте, занадто високі температури можуть призвести до деформації та руйнування диска, тому важливо дотримуватися допустимих меж температури;

-навантаження: диск газової турбіни піддається високим навантаженням при обертанні на дуже високих швидкостях, а також передачі енергії від газового струменя до валу турбіни. Тому диск повинен бути здатним витримувати високі навантаження без деформації чи пошкодження;

-корозія: у газовій турбіні присутні агресивні середовища, такі як високотемпературні гази, які можуть спричинити корозію металевих деталей. Для запобігання корозії диск повинен бути зроблений із спеціальних корозійностійких матеріалів, таких як титанові сплави.

-вібрації: у газовій турбіні можуть виникати вібрації, які можуть пошкодити диск або спричинити його деформацію. Тому диск повинен бути здатний витримувати вібрації і мати достатню жорсткість, щоб запобігти їх дії.

-контроль якості: важливо контролювати якість виробництва дисків, щоб уникнути дефектів і недоліків, які можуть призвести до їхньої поломки під час експлуатації. Для цього використовуються різні методи контролю якості, такі як неруйнівний контроль та тестування на міцність.

Загальні умови експлуатації диска газової турбіни включають точне дотримання рекомендацій виробника з технічного обслуговування, регулярну перевірку стану і заміну дисків при необхідності [1].

Під час експлуатації на диск газової турбіни діють різні сили, термічне навантаження, вібраційні сили та корозійні впливи. Ці сили можуть впливати на довготривалу міцність диска, тому важливо використовувати високоякісні матеріали, які забезпечують оптимальну стійкість до цих впливів [2].

Один з таких матеріалів - сталь ХН35ВТЮ. Цей сплав на основі нікелю має високу корозійну стійкість, термічну стабільність та міцність при

високих температурах. Він широко використовується в газових турбінах, авіаційній промисловості та енергетиці.

Довготривала міцність сталі ХН35ВТ залежить від умов експлуатації та технології виготовлення. Загалом, цей матеріал має високу міцність та стійкість до корозії при високих температурах, що робить його популярним в газовій турбінній промисловості та інших галузях, де вимагається висока термостійкість та міцність.

Також для забезпечення довготривалої міцності диска газової турбіни, важливо регулярно проводити технічне обслуговування, включаючи перевірку на тріщини, корозію та інші дефекти. Також слід дотримуватися рекомендацій виробника щодо заміни дисків, щоб забезпечити безпечну та ефективну роботу газової турбіни [2]

2 НОМЕНКЛАТУРА ВИРОБІВ ТА МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ

Номенклатура – це перелік виробів, які обробляються у виробничому підрозділі. У відділенні термічної обробки проходять термічну обробку зубчасті колеса. Ескіз деталей наведено на рис. 1.1. У табл. 2.1 наведено номенклатуру оброблюваних деталей у відділенні.

Таблиця 2.1 – Номенклатура виробів, які зазнають термічного поліпшення

№ п/п	Назва виробу	Матеріал виробу	Маса виробу, кг	Разміри виробу, мм				Вимоги до матеріалу
				b	l	h	d	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Диск газової турбіни	ХН35ВТЮ		36			188	$\sigma_B^{20} = 720 \text{ МПа}$ $\sigma_{0,2} = 400 \text{ МПа}$ $\delta = 13\%$ $KCU = 400 \text{ КДж/м}^2$ $\sigma_{1000}^{650} > 220 \text{ МПа}$ $\sigma_{1/100000} > 130 \text{ МПа}$

Технологія виготовлення виробів на машинобудівних інструментальних та спеціальних заготівельних підприємствах полягає у виконанні логічної послідовності технологічних операцій, які забезпечують отримання якісних виробів з необхідними характеристиками та властивостями матеріалу.

При виготовленні виробу деталь піддається термічній обробці декілька разів, що передбачає попередню, основну та додаткову термічну обробку в маршрутній технології.

Маршрутна технологія полягає в русі заготовок по цехам та відділенням підприємства із зазначенням виконуваних операцій, які можуть повторюватися з різним призначенням, режимами та забезпечувати зміну форми, розмірів, шорсткості поверхні, мікроструктури та властивостей.[2]

Розглянемо маршрутну технологію для робочої лопатки, яка викладена у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Маршрутна технологія виготовлення виробу

№ п/п	Назва операції (комплексу операцій)	Цех (дільниця) де виконується операція	Призначення операції
1	2	3	4
1	Вхідний контроль	Заготівельний цех або заготівельна дільниця ковальського цеху	Контроль хімічного складу, макроструктури, відсутності дефектів зливків.
2	Кування	Ковальський цех	Надання необхідних розмірів та форми, сприятливої макроструктури заготовки.
3	Попереднє механічне оброблення	Механічний цех	Надання заготовці необхідної форми та розмірів.
4	Контроль	Термічний цех	Візуальний контроль та контроль макроструктури, рентгеноконтроль.

Кінець таблиці 2.2

1	2	3	4
5	Термічне оброблення	Термічний цех	Отримання заданих робочим кресленням властивостей матеріалу (гартування + старіння)
6	Контрольна	Термічний цех	Контроль відсутності дефектів термічного оброблення, контроль механічних властивостей (показників жароміцності)
7	Остаточне механічне оброблення	Механічний цех	Надання виробу остаточних розмірів, геометрії, шорсткості, згідно з робочим кресленням
8	Контроль	Механічний цех	Контроль поверхневих дефектів ЛЮМ (капілярний метод), контроль втоми лопаток, їх частот.

3 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБРАНОГО МАТЕРІАЛУ

Для диску газової турбіни обрано сплав ХН35ВТ (ЭИ612) (табл.3.1) на залізонікелевій основі, який також відноситься до помірно дисперсійно твердіючих, з інтерметалідним зміцненням

Таблиця 3.1 – Хімічний склад сплаву ХН35ВТ, % мас [3]

Марка сталі	Вміст елементів (% мас.) ГОСТ 5632										
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	W	S	P	Cu
ЭИ612	0,12	0,6	1,0-2,0	14,0-16,0	34,0-38,0	0,3	1,1-1,5	2,3-3,5	0,02	0,03	0,25

Також розглянемо механічні властивості сплаву після ТО (Гартування 1180°C, 1 год. вода; подвійне старіння при 780°C , 8-10 годин , повітря та при 730°C , 25 годин, повітря.) із різною температурою випробування.

Характеристики довготривалої міцності наведені у таблиці 3.2. для рекомендованої ТО (Гартування 1180°C, 1 год. вода; подвійне старіння при 780°C , 8-10 годин , повітря та при 730°C , 25 годин, повітря), при різних температурах випробування.

Таблиця 3.2 – Границя довготривалої міцності для сплаву ХН35ВТ (ЭИ612) [3]

T _{випр.,} °C	σ_{1000}	σ_{10000}	σ_{100000}	$\sigma_{1/10^4}$	$\sigma_{1/10^5}$	σ_{-1} , МПа, при циклах	
						10^7	10^8
500	—	450	360	—	—	—	—
525	—	400	330	—	—	—	—

550	—	390	320	—	—	—	—
-----	---	-----	-----	---	---	---	---

Кінець таблиці 3.2

600	320	260	210	—	180	—	—
630	250	210	180	—	150	—	—
650	220	200	160	170	130	300	230
700	—	140	100	110	80	—	—

Як видно з даних наведених в таблицях 3.2 та 3.3 сплав має високі механічні властивості та границі довготривалої міцності. Сплав зберігає властивості при високих температурах, тому температури експлуатації можуть сягати 700⁰С при довготривалій експлуатації. На рисунку 3.1. приведений графік залежності довготривалої міцності від температури. Сплав не чутливий до надрізів.

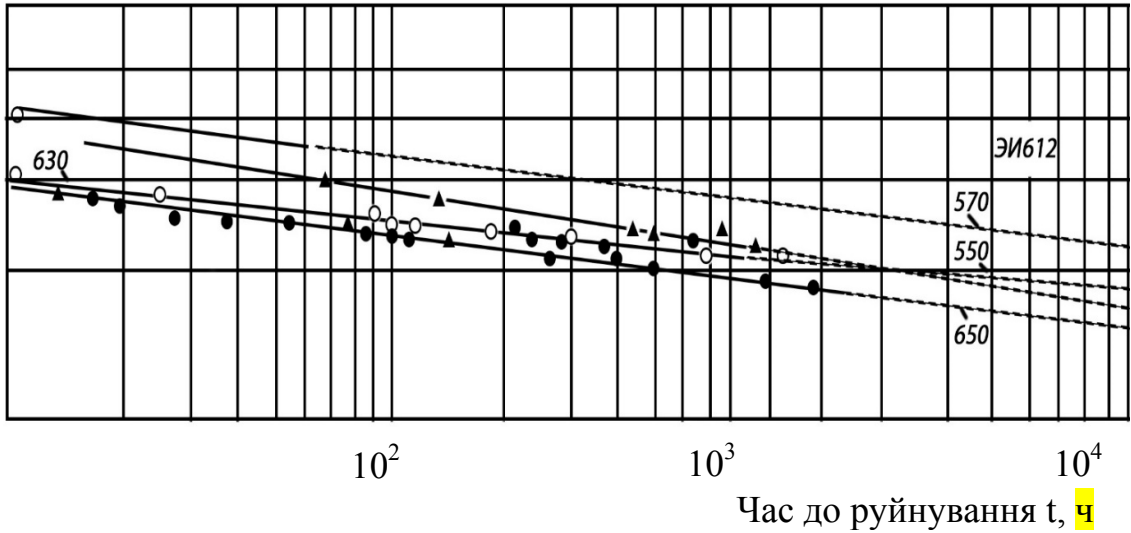


Рисунок 3.1 – Залежність довготривалої міцності від температури

В умовах довготривалих випробувань має добру пластичність при розриві , яка після 10000 годин випробувань сягає 5% при температурі 650⁰С та 1-1,5% при 600⁰С.

На рисунку 3.2 приведена залежність швидкості повзучості від напружень при різних температурах.

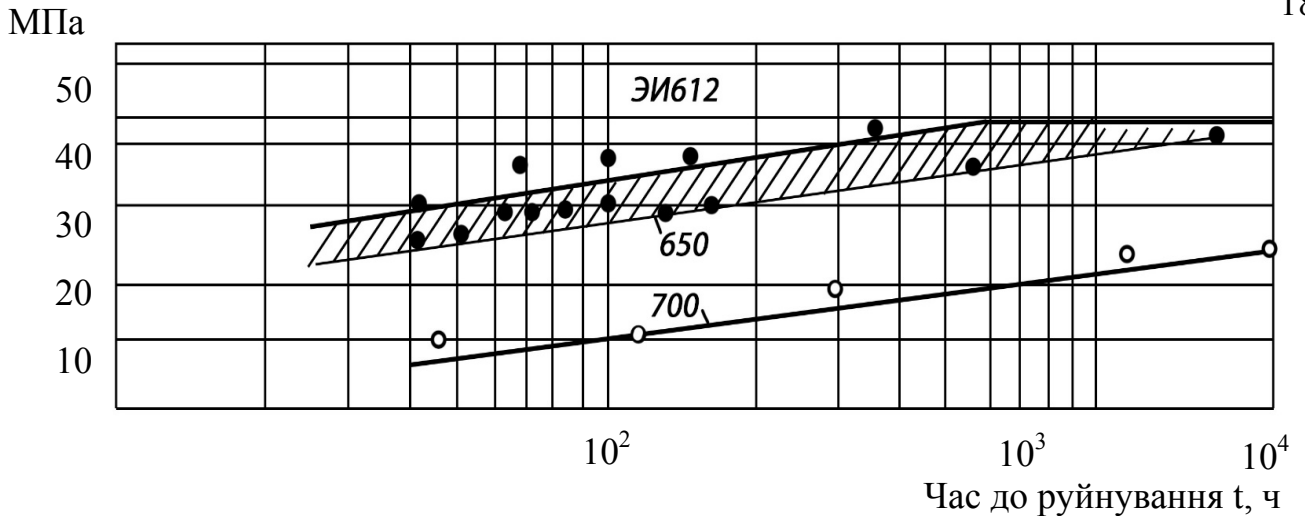


Рисунок 3.2 – Залежність швидкості повзучості від напружень

Як видно з наведеного рисунку сплав має високі показники жароміцності.

Легування сплаву у поєднанні із термічним обробленням значно підвищує показники жароміцності. В залізо-нікелевих жароміцних сплавах структура складається з твердого розчину – матриці, що додатково може містити вторинні виділення.

Нікель розширює γ -область в системі залізо-хром. По мірі підвищення вмісту нікелю γ -область превалує та жароміцність підвищується, на рисунку 4.3 показана залежність константи окислення від вмісту нікелю.[3]

Я маю на кожному графіку показувати що не вистачає показників

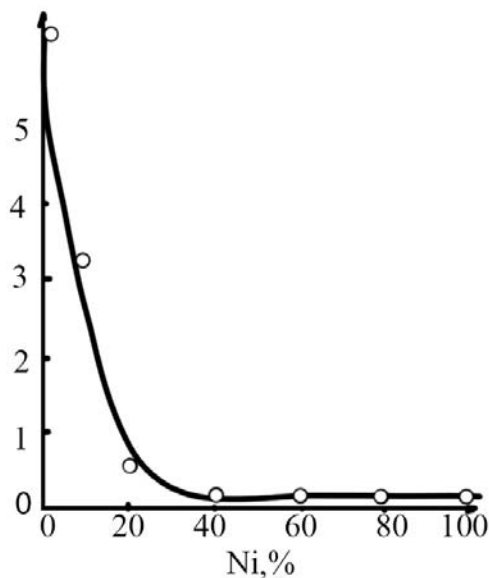


Рисунок 3.3 – Вплив нікелю на жаростійкість сплавів Fe-Ni [4]

В сплаві починаючи із 38% Ni константа швидкості окислення мінімальна. Тобто із збільшенням кількості нікелю збільшується жароміцність.

Нікель є основою утворення фази γ' Ni₃ (Al,Ti) , що виділяється при старінні та є основою зміцнення сплаву, що розглядається на рисунку 4.4 показано вплив нікелю на кількість γ' -фази і механічні властивості при кімнатній (а) та підвищених температурах (б) .

Підвищення кількості нікелю впливає на кінетику утворення γ' -фазита сприяє збільшенню її кількості. Сплав ХН35ВТ із 35% нікелю, сплав має високі показники міцності, при 600°C вони сягають найбільшого значення, пластичність має задовільні показники. Кількість γ' -фази велика, сплав не чутливий до швидкості охолодження при гартування, тобто при охолодженні виробів різної маси та наступного старіння матеріал не втрачає жароміцності.

Сплави на залізонікелевій основі мають найбільшу схильність до дисперсійного твердіння після гартування γ -твердого розчину при температурі вище 850°C. [6]

Введення хрому в сплав підвищує його опір окисленню , при високих температурах. Підвищує енергію зв'язку атомів кристалічної ґратки γ -твердого розчину і тим самим підвищує жароміцні характеристики та температуру рекристалізації легованого аустеніту. Хром створює з вуглецем ряд карбідів, які внаслідок гартування та старіння виділяються в γ -твердому розчині у високодисперсному стані та зміцнюють сплав. Але, у зв'язку з схильністю карбідів хрому до коагуляції, це зміцнення знімається під впливом високих температур. Сплави на залізонікелевій мають високу схильність до утворення σ -фази. Розглянемо діаграму стану Ni-Cr-Fe (рис. 3.4).

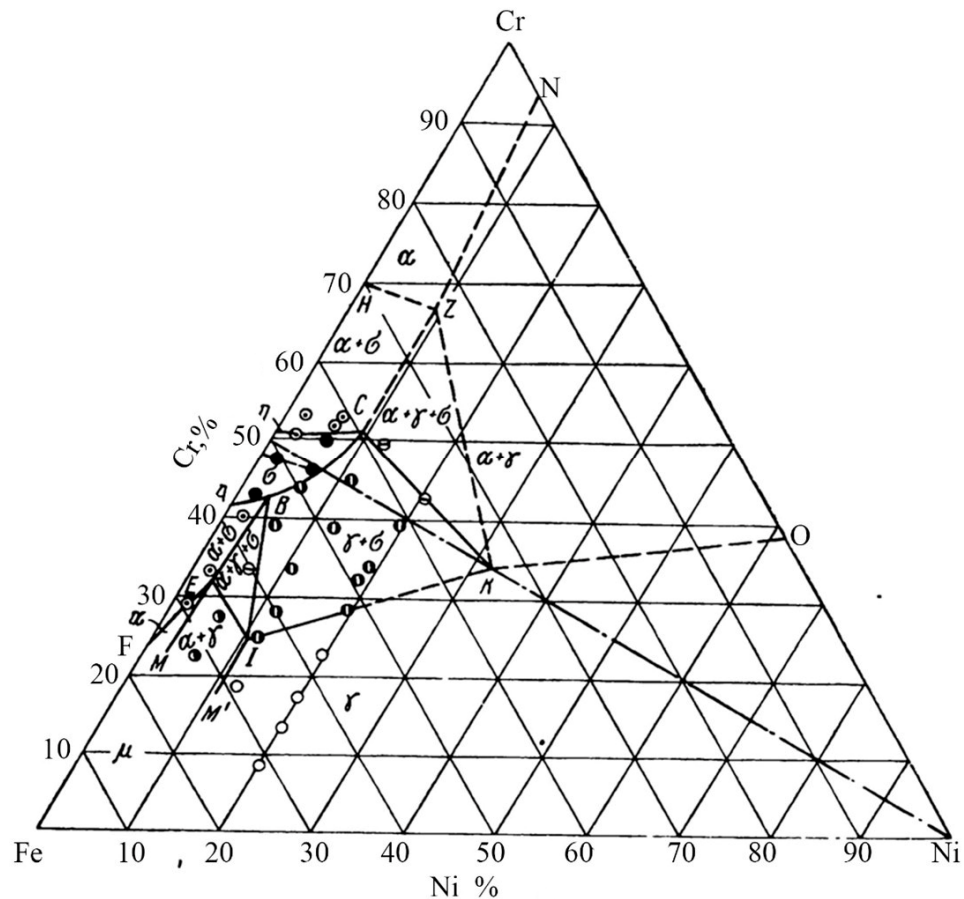


Рисунок 3.4 – Діаграма стану Ni-Cr-Fe при кімнатній температурі

Утворення σ -фази супроводжується виділенням теплоти, збільшенням об'єму і різким підвищенням твердості сталі, тим самим знижуючи пластичність і особливу ударну в'язкість. Довготривалу міцність підвищують крупні частинки σ -фази. Опір повзучості при короткотривалому випробуванні може навіть підвищуватись, але при довготривалих знижується. Тому для сплавів, що призначені до довготривалої експлуатації σ -фаза особливо шкідлива. Для попередження виникнення сплави повинні бути з найменшою кількістю домішок. Утворенню сприяють вольфрам, титан, алюміній. [6]

Введення молібдену підвищує температуру рекристалізації γ -твердого розчину та гальмує їх знеміцнення. Ускладнює дифузійний обмін, рекристалізацію та коагуляцію дисперсних частинок. Може утворювати фази

типа Лавеса Fe_2Mo , що сприяє ще більшому підвищенню жароміцності за рахунок дисперсійного зміцнення.

Вольфрам в сплаві є корисною присадкою, сприяє підвищенню температури рекристалізації та гальмує дифузійні процеси в області знеміцнення сплаву. Входить у склад фаз Лавеса типу Fe_2W . Вольфрам має схильність до нерівномірного розподілення та ліквідації, тому його вводять разом із молібденом.

Як зазначено вище вольфрам та молібден входять у склад фаз Лавеса. На рисунку 4.6 зображено кінетику виділення фаз Лавеса в залежності від температури старіння[7]

Склад цих фаз змінюється в залежності від легування, так як вони можуть розчиняти нікель, що відповідають формулам $(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Cr})_2\text{W}$ та $(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Cr})_2(\text{W}, \text{Mo})$. Фази відрізняються термічною стабільністю, при цьому фаза з вольфрамом має більшу термічну стабільність у відношенні до коагуляції та розчинення, ніж з молібденом. Частинки Fe_2Mo починає розчинятися при температурах $900-950^\circ\text{C}$, а частинки Fe_2W – при $1000-1050^\circ\text{C}$.

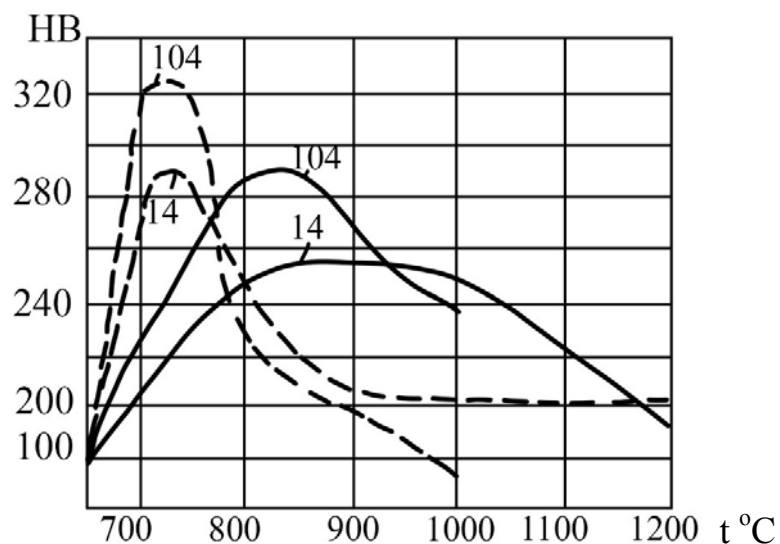


Рисунок 3.5 – Кінетика виділення фаз Лавеса.

Завдяки фазам Лавеса в сплавах, що зміцнюються γ' , можна отримати добрі характеристики жароміцності при доволі задовільній пластичності, в умовах довготривалої роботи (10000- 50000годин) [8]

Титан ефективний зміцнювач, к видно з рисунку 3.7, так як він при старінні утворює разом із нікелем γ' -фазу Ni_3Ti , яка значно підвищує твердість, характеристики міцності та жароміцності , за рахунок дисперсійного твердіння [9]

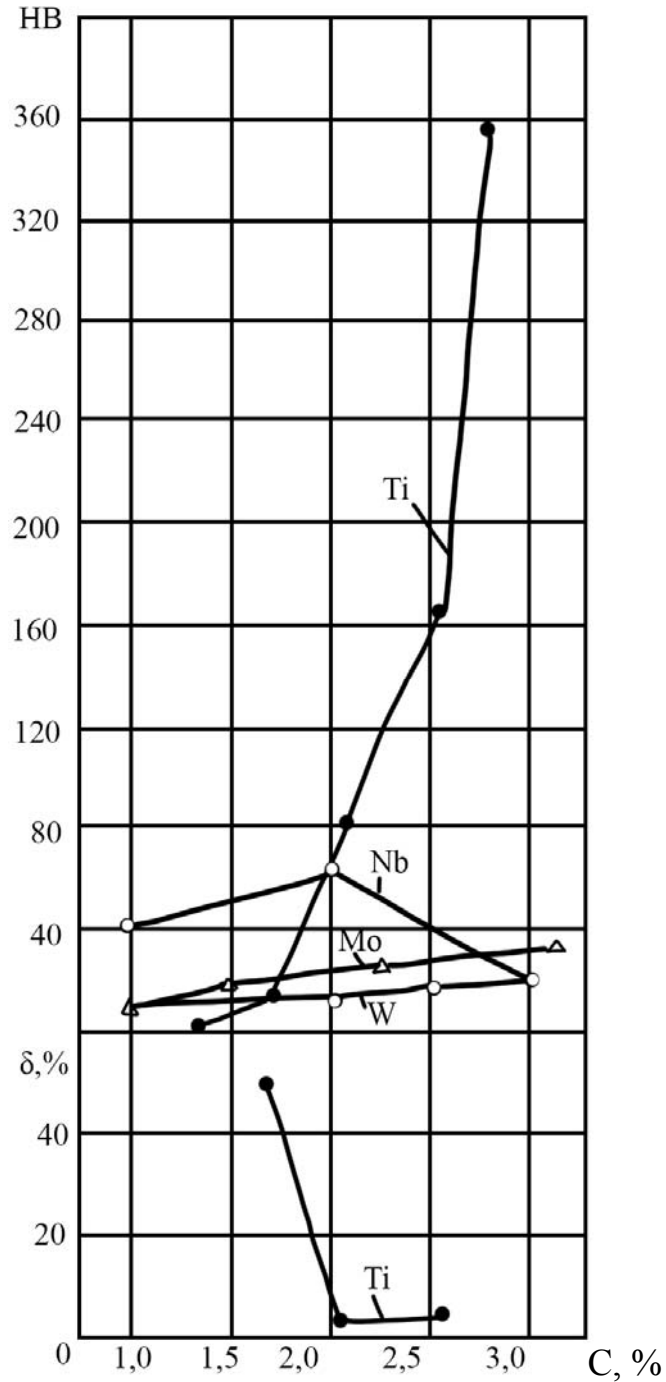


Рисунок 3.6 – Вплив легувальних елементів на властивості сплавів після старіння при 700°C 16 год.

Вуглець використовують для утворення первинних карбідів типу MC, що перешкоджають надмірному росту зерна при тепловій обробці, та для утворення карбідів сприятливої морфології на межах зерен. Найчастіше до складу первинного карбиду входить титан, проте може міститися молібден.

Вуглець майже не впливає на жароміцність, якщо він розчинений у основній масі. Але якщо він присутній у якості карбідів то вуглець знижує жароміцність по двом основним причинам: 1) внаслідок того, що він зв'язує велику кількість легувального елементу, збіднюючи основну масу. 2) внаслідок того, що наявність карбідної фази робить структуру неоднорідною [10]

Термічна обробка сталі ХН35ВТ (ЭИ612) передбачає проведення гартування (обробку на твердий розчин) та подвійне старіння.

Металографічні дослідження сплавів при різних температурах гартування дозволили встановити наступне: після гартування з температур 1000-1180°C сплав має типову будову аустеніту із різною величиною зерна в залежності від температури попередньої обробки.

Розподіл сполуки між металами, карбідних фаз залежить від стану розчину перед старінням , тобто від температури нагріву сплаву під гарт та швидкості охолодження . На рисунку 4.8. показано вплив температури гарту, а на рис. 4.9 – середовища охолодження на властивості сталі.[10]

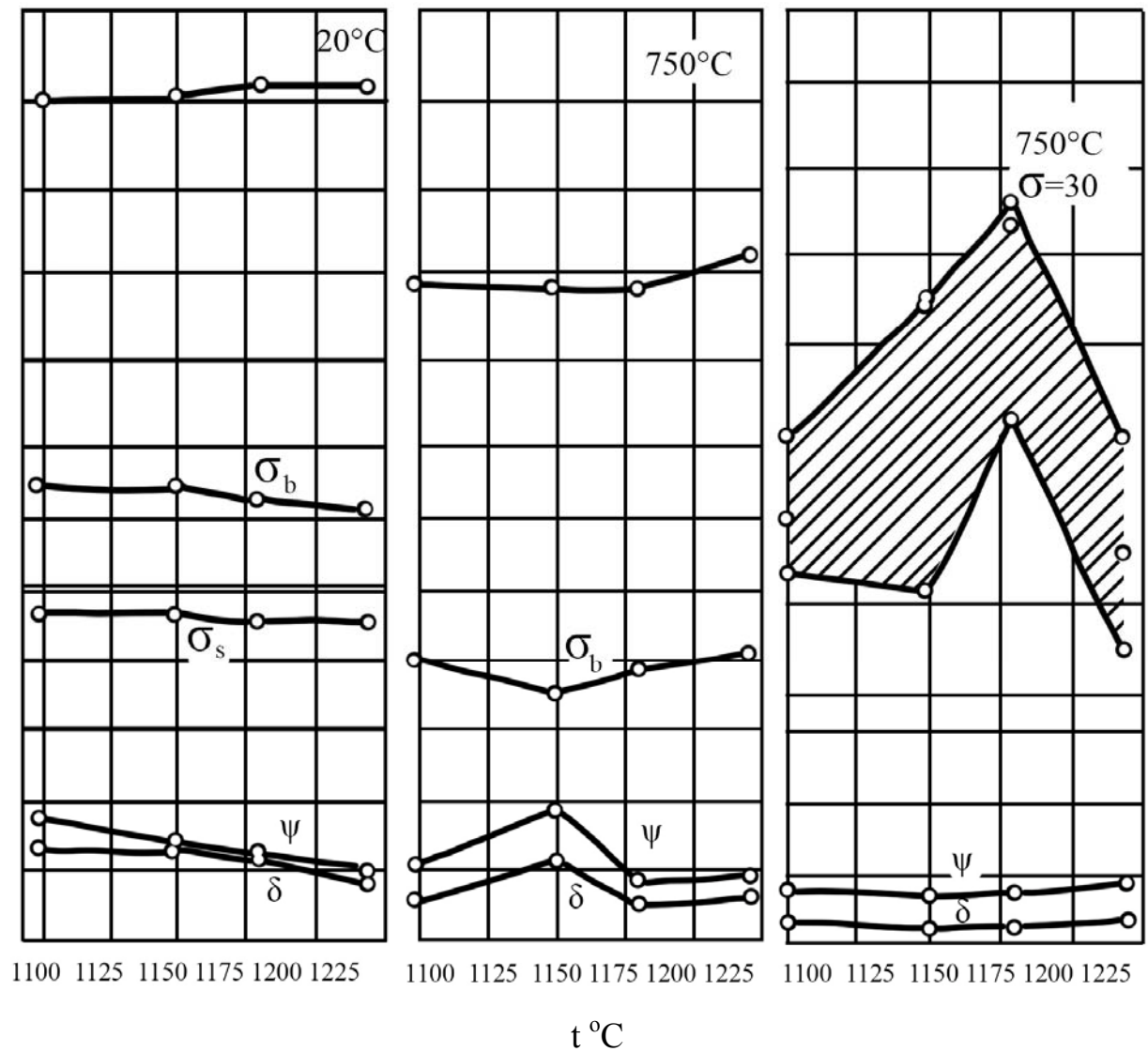


Рисунок 3.7 – Вплив температури гартування на зміну механічних властивостей та на довготривалу міцність. Охолодження від температури гартування на повітрі[11]

Найкращі властивості сталі, при температурі гартування 1180°C . Але охолодження із температур гарту на повітрі не забезпечить отримання високих жароміцних характеристик, і потрібне більш швидке охолодження (олія) . Охолодження у воді деталей складної конфігурації може призвести до появи великих напружень та мікронадривів, а при старінні – тріщин.



Рисунок 3.8 – Механічні властивості та довготривалу міцність в залежності від швидкості охолодження при гартуванні 1180°C. [11]

Для даного сплаву рекомендованою є температура гартування 1180°C та охолодження у воді. При нагріванні вище 1200°C по границям зерен з'являється евтектична складова, що сприяє окрихченню. Метою старіння є створення ефективного зміцнення за рахунок виділення частинок фаз γ' . Сплави з інтерметалідним зміцненням мають меншу температуру розчинення фаз, особливо γ' , і меншу схильність до коагуляції цих фаз. Подвійне старіння забезпечує максимальне поєднання міцності та пластичності в умовах повзучості при температурах 650-750°C. Це створюється за рахунок того, що при першому старінні відбувається утворення частинок дисперсних більшого розміру і зміцнення відбувається за рахунок механізму огинання, а при другому старінні, утворюються частинки меншого розміру і реалізується механізм перерізання. Тому подвійне старіння реалізує два механізми зміцнення. При старінні необхідно створити сприятливий розподіл карбідів по межах зерен [12]

4 РОЗРОБКА РЕЖИМІВ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

Технологія термічної обробки – складова частина технологічного процесу виготовлення виробу, яка забезпечує отримання необхідної структури, механічних та експлуатаційних властивостей, якості цього виробу[12]

Вибір основних операцій ТО необхідно здійснювати таким чином, щоб технологія була високопродуктивною, забезпечувала б найбільш раціональне використання матеріальних та енергетичних ресурсів і головне – високу якість продукції. Для виробу диск газової турбіни до якого висунуто вимоги: $\sigma_B^{20}=720\text{МПа}$, $\sigma_{0,2}=400\text{МПа}$, $\delta=13\%$, $KCU=400\text{КДж/м}^2$, $\sigma_{1000}^{650}>220\text{МПа}$, $\sigma_{1/100000}^{650}>130\text{МПа}$. ТО яка може забезпечити даний рівень властивостей складається з таких основних операцій, як гартування та подвійне старіння. До допоміжних при цьому слід віднести контрольні операції.[12]

На рисунку 4.1. наведений графік термічної обробки диску газової турбіни зі сплаву.

Для гартування обираються температури 1080- 1100°C, охолодження у аргоні; для першого старіння температури 850-900°C охолодження в аргоні, а для другого – 700°C, аргон

Розрахуємо час що буде витрачено на гартування за формулою[12]:

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{в}} + \tau_{\text{ох}},$$

де $\tau_{\text{н}}$ – час нагрівання до заданої температури, хв;

$\tau_{\text{в}}$ – час витримки при технологічній температурі, хв.

Вироби завантажуються у нагріту піч. Час нагрівання виробу до заданої температури розраховується за формулою:

$$\tau_H = S \times k \times f \times L_{\text{Л}}$$

де S – характеристичний розмір виробу (діаметр кулі, циліндру, найменше ребро призми і т.ін.), мм;

k – коефіцієнт форми; 0,75

f – коефіцієнт розташування виробів в нагрівальному пристрої, що впливає на час нагрівання; 1,4

$L_{\text{Л}}$ – коефіцієнт легування сталі, хв/мм. 0,27

Звідси час нагрівання під гартування для диску газової турбіни зі сплаву ХН35ВТ складає:

$$\tau_H = 188 \times 0,75 \times 1,4 \times 0,27 = 53,29 \text{ хв.}$$

Охолодження після гартування проводиться аргоні, і буде відбуватися протягом:

$$\tau_{\text{ох}} = \frac{1080 - 20}{70^\circ \text{C/хв}} - 15 \text{ хв.}$$

Витримка пригод.

Таким чином загальний час, що було затрачено на гартування дорівнює:

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_H + \tau_{\text{ох}} = 2,1 \text{ год.}$$

Розрахуємо час, що було витрачено на старіння.

Перше старіння (температура нагрівання 850°C):

$$\tau_{\text{н1}} = 188 \times 2,66 \times 1,4 \times 0,27 = 189,5 \text{ хв.}$$

Час витримки $\tau_{\text{в}}$ беремо з довідникових даних, він дорівнює 10 год = 600хв.

Охолодження після старіння відбувається в аргоні, швидкість охолодження при цьому складає 70 °C/хв, звідси час затрачений на охолодження:

$$\tau_{ox1} = \frac{850 - 20}{70^{\circ}\text{C/хв}} = 11,85 \text{ хв}$$

(температура нагрівання 700°C)

$$\tau_{H2} = 188 \times 4,3 \times 1,4 \times 0,27 = 305,97 \text{ хв.}$$

Час витримки τ_v беремо з довідникових даних, він дорівнює 30 год = 1800хв.

Охолодження після старіння відбувається в аргоні, швидкість охолодження при цьому складає 70 °C/хв, звідси час затрачений на охолодження:

$$\tau_{ox2} = \frac{700 - 20}{70^{\circ}\text{C/хв}} = 9,71 \text{ хв}$$

Загальний час затрачений на старіння складає[12]:

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_{\text{заг(арг)}} + \tau_{H1} + \tau_v + \tau_{ox} + \tau_{H2} + \tau_v + \tau_{ox2} = 50,75 \text{ год.}$$

Розрахуємо масу садки для операцій гартування та старіння.

Для здійснення гартування обираємо піч СНВ-3.6.3/13:

С – електрична, Н – камерна, В – вакуумне середовище (контрольоване), з довжиною 600 мм, шириною 300мм, висотою 300мм робочого простору з максимальною температурою нагріву до 1300. Охолоджувальне середовище газ аргон.

Розраховуємо кількість виробів що поміщуються по довжині робочого простору печі СНВ-3.6.3/13:

$$n_d = L/(D+D/2)$$

де L – довжина робочого простору, 600мм;

D – діаметр заготовки, 188мм;

$$n_d = 600/(188+188/2) = 2,1 \text{ шт}$$

Розрахуємо кількість виробів, що поміщуються по ширині робочого простору печі[12]:

$$n_{ш} = Ш/(d+d/2)$$

де Ш – ширина робочого простору, 300мм;

d – ширина заготовки, 188мм;

$$n_{ш} = 300/(188+188/2) = 1,06$$

Тоді в одному ярусі розташовується: $n_{яp} = n_d \times n_{ш} = 2 \times 1 = 2$ шт. виробів.

Розраховуємо кількість виробів робочого простору по висоті:

$$n_b = B/(b+b/2)$$

де B – висота робочого простору, 300мм;

b – висота заготовки, 36мм;

$$n_b = 300/(36+18) = 5 \text{ яp}$$

Кількість виробів в печі розраховуємо за формулою[12]:

$$N = n_{\text{яп}} \times n_b = 5 \times 2 = 10 \text{ шт}$$

Маса заготівки обчислюється як добуток об'єму заготівки $V(999,33 \text{ см}^3)$ на густину сплаву ($\rho = 8,164 \text{ г/см}^3$)

$$M_3 = V \times \rho = 999,33 \times 8,164 = 8158,53 \text{ г}$$

Звідси маса садки

$$M_c = 8158,53 \text{ г}$$

Для першого старіння доречно використати піч, що і для гартування.

Для другого старіння обираємо піч СНВ 5.10.5/9:

С – електрична, Н – камерна, В – вакуумне середовище (контрольоване), з довжиною 1000 мм, шириною 500мм, висотою 500мм робочого простору з максимальною температурою нагріву до 900°C. Охолоджувальне середовище газ аргон.

$$n_d = L / (D + D/2)$$

де L – довжина робочого простору, 1000мм;

D – діаметр заготовки, 188мм;

$$n_d = 1000 / (188 + 94) = 3 \text{ шт}$$

Розрахуємо кількість виробів, що поміщуються по ширині робочого простору печі:

$$n_{\text{ш}} = III / (d + d/2)$$

де Ш – ширина робочого простору, 500мм;

d – ширина заготовки, 188мм;

$$n_{\text{ш}} = 500 / (188 + 188/2) = 1,7$$

Тоді в одному ярусі розташовується: $n_{\text{яр}} = n_{\text{д}} \times n_{\text{ш}} = 3 \times 1 = 3$ шт. виробів.

Розраховуємо кількість виробів робочого простору по висоті:

$$n_{\text{в}} = B / (b + b/2)$$

де В – висота робочого простору, 500мм;

b – висота заготовки, 36мм;

$$n_{\text{в}} = 500 / (36 + 36/2) = 9,2$$

Кількість виробів в печі розраховуємо за формулою:

$$N = n_{\text{яр}} \times n_{\text{в}} = 3 \times 9 = 27 \text{ шт}$$

Маса заготівки обчислюється як добуток об'єму заготівки $V(999,33 \text{ см}^3)$ на густину сплаву ($\rho = 8,164 \text{ г/см}^3$)

$$M_3 = V \times \rho = 999,33 \times 8,164 = 8158,53 \text{ г}$$

Звідси маса садки

$$M_{\text{с}} = 8158,53 \text{ г}$$

Таблиця 4.1 – Карта технологічного процесу термічного оброблення диску газової турбіни

Ескіз виробу де?		Технічні вимоги				
Дивись креслення 1		Матеріал		Властивості		Структура
		Сплав ХН35ВТ		$\sigma_B^{20}=720\text{МПа}$, $\sigma_{0,2}=400\text{МПа}$, $\delta=13\%$, $KCU=400\text{КДж/м}^2$, $\sigma_{1000}^{650}>220\text{МПа}$, $\sigma_{1/100000}^{650}>130\text{МПа}$		
№	Операція або перехід	Обладнання прилади або інструменти	Умови нагрівання: t , τ , середовище, його склад .	Умови охолодження: t_K , V , середовище, тривалість	Прийомні технологічність та кількість виробу в ньому	Умови оброблення та контролю
1	2	3	4	5	6	7
1.	<u>Вхідний контроль</u>	Стилоскоп, штангенциркуль, мікрометр				Хімічний склад, розміри, відсутність поверхневих дефектів.
2.	<u>Гартування</u> Нагрів	СНВ3.6.3/13	$t_H=20-1080^\circ\text{C}$; $\tau_H=53,29\text{хв}$, вакуум		Піддон, 10 виробів, маса 81кг	t ; τ_H , тиск вакууму, а також кількість виробів в садці
2.1	Витримка	СНВ3.6.3/13	$t_B=1080^\circ\text{C}$ $\tau_B=60\text{хв}$. вакуум		Піддон, 10 виробів, маса 81кг	t ; τ_B , тиск вакууму, а також кількість виробів в садці
2.2	Охолодження					

		СНВ3.6.3/13		$t_{\text{п}}=1080\pm 10^{\circ}\text{C};$ $t_{\text{к}}=20^{\circ}\text{C}; V_{\text{ох}}=70^{\circ}\text{C/хв},$ $\tau_{\text{ох}}=15\text{хв};$ аргон	Піддон,10 виробів, маса 81кг	$t_{\text{п}}, t_{\text{к}}, \tau_{\text{ох}}, V_{\text{ох}},$
--	--	-------------	--	--	------------------------------------	--

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7
3.	Контроль	ТШ, металографічний мікроскоп МІМ-7				мікроструктуру, геометрію, зовнішній огляд, номер зерна
4	Старіння					
4.1	Перше старіння Нагрівання	СНВ3.6.3/13	$t_{\text{н}}=20-850^{\circ}\text{C};$ $\tau_{\text{н}}=189,5\text{хв},$ вакуум		Піддон,10 виробів, маса 81кг	$t; \tau_{\text{н}},$ тиск вакууму, а також кількість виробів в садці
4.2	Витримка	СНВ3.6.3/13	$t_{\text{в}}=850^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{в}}=600\text{хв}.$ вакуум		Піддон,10 виробів, маса 81кг	$t; \tau_{\text{в}},$ тиск вакууму, а також кількість виробів в садці

4.3	Охолодження					
-----	-------------	--	--	--	--	--

Кінець таблиці 4.1

		СНВ3.6.3/13		$t_{\text{п}}=850\pm 10^{\circ}\text{C}; t_{\text{к}}=20^{\circ}\text{C};$ $V_{\text{ох}}=70^{\circ}\text{C/хв},$ $\tau_{\text{ох}}=11,85; \text{повітря}$	Піддон,10 виробів, маса 81кг	$t_{\text{п}}, t_{\text{к}}, \tau_{\text{ох}}, V_{\text{ох}}.$
4.4	Друге старіння Нагрівання	СНВ 5.10.5/9:	$t_{\text{н}}=20-700^{\circ}\text{C};$ $\tau_{\text{н}}=305,97\text{хв},$ вакуум		Піддон,27 виробів, маса 220кг	$t; \tau_{\text{н}}, \text{ тиск вакууму, а}$ також кількість виробів в садці
4.5	Витримка	СНВ 5.10.5/9:	$t_{\text{в}}=700^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{в}}=1800\text{хв}.$ вакуум		Піддон,27 виробів, маса 220кг	$t; \tau_{\text{в}}, \text{ тиск вакууму, а}$ також кількість виробів в садці
4.6	Охолодження	СНВ 5.10.5/9		$t_{\text{п}}=700\pm 10^{\circ}\text{C}; t_{\text{к}}=20^{\circ}\text{C};$ $V_{\text{ох}}=70^{\circ}\text{C/хв},$	Піддон,27 виробів, маса	$t_{\text{п}}, t_{\text{к}}, \tau_{\text{ох}}, V_{\text{ох}}.$

				$\tau_{ox}=9,7xв$; аргон	220кг	
5	Остаточний контроль.	ТШ, металографічний мікроскоп МІМ-7				Контролюється механічні властивості, структура.

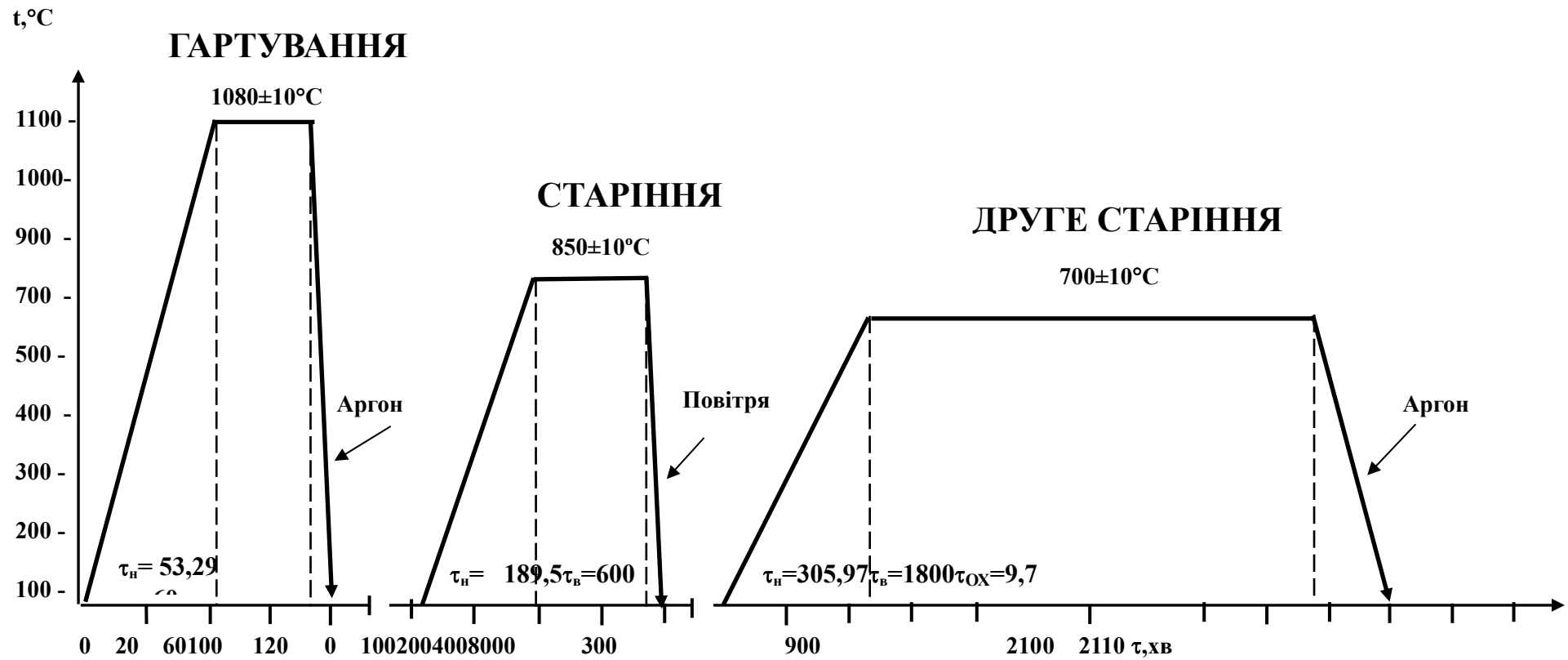


Рисунок 4.1 – Графік термічної обробки диску газової турбіни зі сплаву

5 ТЕХНІЧНИЙ КОНТРОЛЬ, ПОПЕРЕДЖЕННЯ ТА ВИПРАВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ

Висока якість продукції забезпечується вірно проведеним вхідним, між операційним та завершальним контролем.

Вхідний контроль охоплює перевірку матеріалів, що використовуються для виготовлення дисків, та хімікатів. Ретельне виконання вхідного контролю робить неможливим появу неякісної продукції на виробництві; вхідним контролем визначається хімічний склад матеріалу виробів і його відповідність робочому кресленню, а також відсутність внутрішніх та зовнішніх дефектів форми та розмірів [14]

Між операційний контроль технологічних процесів термічної обробки полягає в перевірці готовності термічного обладнання і оснащення до проведення термічної обробки; вимірюванні, регулюванні і запису робочих температур автоматичними терморегуляторами у печах з заданою точністю; точне виконання витримок при виконанні операції нагріву й охолодження лопаток [14]

При поточному контролі контролюються усі параметри операцій: температура, час, схема садки, витрати середовища, тиск, середовище при охолодженні його температура, структура та властивості виробів після виконання операцій.

Вихідний є обов'язковою операцією, тому що після термічної обробки здійснюється механічне оброблення, складальні операції, тобто диски повинні передаватись із необхідними структурами та властивостями [14]

Основними видами контролю якості дисків газових турбін після термічної обробки є:

- візуальний контроль для виявлення тріщин, оплавлення поверхні диску та інших поверхневих дефектів (100%);
- контроль мікроструктури;

- перевірка жароміцності дисків на зразках; [15]

В таблиці 5.1 представлені основні види дефектів диску газової турбіни, що можуть виникнути в результаті термічної обробки.

Таблиця 5.1 – Можливі дефекти при ТО, їх види, причини появи, заходи по запобіганню та усуненню

Назва операції	Вид дефекту	Причина появи	Заходи по запобіганню	Заходи по усуненню
1	2	3	4	5
Гартування	1.Тріщини	1.1.Неметалеві включення,та інші концентратори напружень. 1.2.Завищена швидкість охолодження при гартуванні. 1.3.Завищена швидкість нагрівання. 1.4.Завищена температура гартування.	1.1.Вилучення неметалевих включень додатковою обробкою. 1.2.Ввикористання оптимального гартівного середовища. 1.3.Нагрівання з регламентованою швидкістю та кінцевою температурою нагрівання.	Дефект не виправний

Кінець таблиці 5.1

	3.Крупне зерно аустеніту	3.1.Перегрів.	3.1.Дотримання оптимальної температури та часу нагрівання.	3.1.Повторний гарт
	4.Понижена твердість.	4.1.Охолодження зі швидкістю менше критичної.	4.1.Проведення охолодження у відповідному середовищі.	4.1.Повторне термічне оброблення
	5.Короблення	5.1.Нераціональне розташування виробів в садці. 5.2.Охолодження з високою швидкістю.	5.1.Дотримання схеми садки при її формуванні. 5.2.Гартування у відповідному середовищі.	Дефект невірний
Старіння	Понижена жароміцність	1.1.Недостарювання, низька температура старіння або недостатня тривалість витримки 1.2.Перестарювання, висока температура старіння	1.1.Контроль температури та тривалості процесу старіння.	1.1.Повторне старіння. 1.2.Повторне достарювання.

Таким чином передбачені в технологічній карті види контролю перевіряють наступні характеристики виробу:

Вхідний контроль:

-хімічний склад – є обов'язковою операцією і перевіряється відповідність матеріалу виробів робочому кресленню. Використовуються експресні методи контролю (спектральний, хроматографічний). Приладом є стилоскоп;

-розмір та геометрія виробів, стан поверхні (на поверхні не повинно бути грубих подряпин, вдавлювань і тріщин);

-мікроструктура шару (рентгеноструктурні, рентгеноспектральні, оптичні мікроскопи);

Поточний контроль – здійснюється після виконання основних та додаткових операцій. Після гартування контролюється твердість та розмір зерна. Випробування здійснюються на твердомірі, металографічний метод використовують для визначення структури сталі.

Вихідний або завершальний контроль – обов'язково перевіряються параметри виробу, які передбачені кресленням.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

У розділі дипломної роботи розглядаються питання безпеки під час дослідження впливу термічної обробки на експлуатаційні характеристики.

6.1 Оцінка потенційних ризиків:

Ризик отримання електричного удару через порушення правил електробезпеки, несправність обладнання або відсутність заземлення, що може призвести до електротравми або смертельного результату.

Неналежне розташування робочого місця дослідника відповідно до ергономічних вимог, що може призвести до зниження працездатності.

Ризики, пов'язані з проведенням термічної обробки в печі СНВ-3.6.3/13.

Ризики, пов'язані з випробуваннями механічних властивостей, зносостійкості та ударної в'язкості.

Невідповідні параметри повітряного середовища в робочій зоні через неефективну роботу системи кондиціонування, що може призвести до захворювань органів дихання та алергічних реакцій.

Недостатнє освітлення приміщення.

Можливість виникнення пожежі через порушення правил безпеки або несправність обладнання.

6.2 Заходи щодо забезпечення загальної безпеки:

Для уникнення ризику ураження електричним струмом, згідно з ПУЕ-2011, передбачається.

Всі працівники лабораторії мають пройти навчання та перевірку знань з електробезпеки, а також отримати 2-3 групу з електробезпеки відповідно до НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників». Опір заземлення має перевірятися щорічно, і він не повинен перевищувати 4 Ом. Якість заземлення повинна відповідати нормативним вимогам. Щорічно проводиться перевірка згідно з актом вимог відповідно до ГОСТ 12.1.019-79 "Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту". Періодично, не менше двох разів на рік, перевіряється справність контактів електричних з'єднань та штепсельних вилок з'єднувальних проводів. У разі відчуття струму при дотику до неструмопровідних частин електроприводу, слід відключити прилад від мережі. Ремонт електричного обладнання виконують особи з кваліфікаційною групою (не нижче II групи) з електробезпеки.

Ремонтні роботи на мікроскопі проводяться лише після повного відключення від електричної мережі. При заміні катоду після відкриття електронної гармати, перед тим як торкнутися фокусуючого електроду, слід зняти заряд з катодного вутла шляхом його заземлення. Всі ремонтно-монтажні роботи або огляд високовольтних частин мікроскопу проводять не менше, ніж двома особами. Для захисту людей від ураження електричним струмом передбачено використання подвійної ізоляції провідників.

Організація робочого місця включає правильне розташування робочого місця у виробничому приміщенні, вибір ергономічно обґрунтованого робочого положення та виробничих меблів з урахуванням антропометричних характеристик людини, раціональне компонування обладнання на робочих

місцях та урахування характеру та особливостей трудової діяльності. Однією з основних умов підвищення працездатності є правильно організоване робоче місце, яке включає меблі, комп'ютер та інші організаційно-технічні засоби.

Продуктивність розумової праці впливають відволікаючі фактори, такі як шуми, розмови, переміщення сторонніх осіб та невміння дослідника довго концентрувати увагу на об'єкті дослідження. Ці фактори слід враховувати при організації праці дослідника. Робоча атмосфера та звичка до місця роботи відіграють важливу роль у продуктивності інтелектуальної праці. Робоча атмосфера включає робоче приміщення (кімнату, кабінет, лабораторію, бібліотеку), робочу зону (письмовий стіл, стілець, шафу, стелаж) та розташування предметів у ній, температуру та вологість повітря, освітлення (природне та штучне) та звукове поле (шум, вібрації). При цьому слід дотримуватись НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників».

Кожен працівник повинен мати робоче місце, організоване відповідно до вимог технологічного процесу, адаптації та інших засобів праці, обладнання та інструментів. Створення сприятливих умов праці передбачає забезпечення фізіологічного та гігієнічного комфорту для виконання науково-дослідних робіт. Вчені зазвичай працюють сидячи за столом, тому важливо, щоб площа та об'єм робочої зони відповідали вимогам ГОСТ 12.2.032-78 «Робоче місце при виконанні робіт сидячи» і складали 6 м² та 30 м³ відповідно.

Дослідження вказують, що висота офісного стола повинна відповідати висоті ліктів людини у сидячому положенні, висота стільця - висоті колінного суглоба над підлогою, з урахуванням висоти каблука. Сидіння стільця не повинно бути плоским, а невелике заглиблення забезпечує зручність робочої пози дослідника. М'які сидіння та широка, вигнута спинка стільця, що відповідає формі спини людини, є більш зручними та гігієнічними. Вимоги до стільця вказані у Частині 5 «Вимоги до компонування робочого місця та

до робочої пози ДСТУ ISO 9241-5:2004 «Ергономічні вимоги до роботи з відео терміналами в офісі».

На столі не повинно бути нічого зайвого. Оскільки погляд працівника зазвичай спрямований на ліву сторону стола, там розміщують невиконані документи, а праворуч - виконані. Розміщуючи столи у робочому приміщенні дослідника, слід враховувати мету підвищення продуктивності праці при мінімальних витратах енергії, а також фізіологічні та гігієнічні фактори, об'єм, площу, напрям денного світла та штучного освітлення, що падає на стіл.

Ризики, пов'язані з проведенням термічної обробки в печі СНВ-3.6.3/13

- високі температури: Під час роботи печі можуть досягатися великі температури, що можуть спричинити опіки, якщо не використовувати обладнання належним чином або стикатися з гарячими поверхнями;

- небезпека пожежі: Високі температури можуть викликати пожежу, якщо поруч з печі розташовані легкозаймисті матеріали або якщо піч не відповідає стандартам пожежної безпеки;

- ризик вибуху: У разі витоку газу або інших легкозаймистих речовин під час роботи печі може статися вибух;

- електричні ризики: Неналежне використання або пошкодження електричних компонентів печі може призвести до короткого замикання, що може викликати пожежу або ураження електричним струмом;

- несподіване відкривання печі: Ризик отримання опіків або інших травм у разі випадкового відкривання печі під час роботи;

- випари т небезпечні речовини: Під час термічної обробки можуть виділятися випари або небезпечні речовини, які можуть негативно впливати на здоров'я людини;

Для забезпечення безпеки під час роботи з печі СНВ-3.6.3/13 слід дотримуватися правил безпеки, використовувати захисне обладнання, проводити регулярне технічне обслуговування та перевіряти обладнання на наявність пошкоджень або відмов.

Загальні вимоги щодо охорони праці для дослідника фізико-механічних випробувань.

Для проведення механічних випробувань допускаються особи, які відповідають віковим вимогам, пройшли медичний огляд, не мають протипоказань до виконання даного виду робіт, пройшли навчання, перевірку теоретичних знань і практичних навичок безпечних методів роботи, отримали посвідчення з охорони праці та допущені до самостійної роботи.

Перед допуском до самостійної роботи дослідник фізико-механічних випробувань повинен пройти стажування протягом 2-14 змін (залежно від кваліфікації працівника) під керівництвом спеціально призначеної особи.

-дослідник повинен проходити періодичний медичний огляд відповідно до вимог Міністерства охорони здоров'я;

-дослідник має проходити періодичну перевірку своїх знань з охорони праці щонайменше раз на 12 місяців;

-дослідник повинен розуміти небезпеки та шкідливі виробничі фактори, пов'язані з виконання робіт, та знати основні методи захисту від їх впливу, такі як хімічні фактори, недостатня освітленість, екстремальні температури, гострі кромки та інструменти;

- знати вимоги, викладені в інструкціях (паспортах) виробників обладнання та інструкціях з охорони праці;

-знати будову обладнання, що використовується в лабораторії;

-знати вимоги до електрота пожежної безпеки, вміти користуватися приладами пожежогасіння;

-використовувати засоби індивідуального захисту, видані відповідно до галузевих норм;

-вміти надавати першу допомогу, дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку та санітарно-гігієнічних умов праці;

-дослідник не повинен піддаватися небезпеці та перебувати в місцях виконання робіт, які не стосуються його безпосередніх обов'язків;

-дослідник зобов'язаний знати порядок повідомлення адміністрації про травми, небезпеку, що може призвести до аварії або пожежі;

Усі виявлені несправності устаткування, приладів та пристроїв повинні бути негайно повідомлені керівнику робіт, і роботу не можна розпочинати до їх усунення. Ось основні заходи для запобігання механічних травм:

-організаційні: проведення інструктажів з охорони праці та використання виробничого обладнання. Перевірка знань та атестація персоналу відповідно до НПАОП 0.00-4.12-05 "Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань по питанням охорони праці";

.-технічні: застосування захисних кожухів для закриття обертових або рухомих частин механізмів відповідно до НПАОП 27.4-7.15-86 «Огородження рухомих частин устаткування. Загальні технічні вимоги». Також використання огорожень відповідно до ГОСТ 12.2.062-81. ССБТ. Конструкція огорожень має запобігати потраплянню кінцівок у зону деформації, але одночасно дозволяти безпечне обслуговування штампа;

6.3 Заходи щодо забезпечення санітарії виробництва та гігієни праці

При врахуванні оптимальних метеорологічних умов враховуються холодний період року з середньодобовою температурою зовнішнього повітря нижче +10°C та теплий період з температурою +10°C і вище.

Метеорологічні умови у виробничих приміщеннях, такі як температура повітря, відносна вологість та швидкість переміщення повітря, мають відповідати вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» та ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони». Роботи в офісному приміщенні належать до категорії 16 легкої роботи, тому передбачені такі оптимальні значення параметрів мікроклімату:

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

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

Для забезпечення та підтримки оптимального мікроклімату активно використовуються кондиціонери та пристрої для підтримки оптимальних кліматичних умов у квартирах, будинках, офісах, автомобілях, а також для очищення повітря від шкідливих речовин. Кондиціонери та спліт-системи призначені для зниження температури повітря в приміщенні в теплу пору року або (рідше) підвищення температури повітря в приміщенні в холодну пору року. Окрім основної функції регулювання температури, кондиціонери можуть забезпечувати вентиляцію приміщення, фільтрацію, зволоження та іонізацію повітря.

У процесі функціонування кондиціонера відбувається наступне. Газоподібний холодоагент під низьким тиском (3-5 атмосфер) і температурою 10-20 °C надходить з випарника до компресора. Компресор стискає холодоагент до тиску 15-25 атмосфер, в результаті чого він нагрівається до 70-90 °C і потрапляє в конденсатор. Завдяки інтенсивному обдуву конденсатора, холодоагент охолоджується і перетворюється з газу в рідину, виділяючи додаткове тепло. Таким чином, повітря, що проходить через конденсатор, нагрівається. На виході з конденсатора холодоагент знаходиться в рідкому стані, під високим тиском і з температурою на 10-20 °C вище за температуру атмосферного (зовнішнього) повітря. З конденсатора теплий холодоагент потрапляє в терморегулюючий вентиль, який може бути капіляром (довга тонка мідна трубка, змотана в спіраль). На виході з терморегулюючого вентиля тиск і температура холодоагенту значно знижуються, при цьому частка холодоагенту може випаровуватися. Після пристрою (капілярної трубки або ТРВ), що регулює потік, суміш рідкого і газоподібного холодоагенту з низьким тиском надходить у випарник. У випарнику рідкий холодоагент перетворюється в газ, поглинаючи тепло, в

результаті чого повітря, що проходить через випарник, охолоджується. Далі газоподібний холодоагент з низьким тиском надходить до компресора, і весь цикл повторюється. Цей процес є основою роботи будь-якого кондиціонера, незалежно від його типу, моделі або виробника.

Окрім параметрів мікроклімату, на збереження працездатності людини впливають рівні позитивних (n^+) і негативних (n^-) іонів у повітрі. Рівень іонізації повітря приміщень з ВДТ повинен відповідати вимогам ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень» і становить: $n^+1500-30000$ (шт. на 1 см^3), $n^-3000-5000$ (шт. на 1 см^3). Оптимальний рівень легких позитивних і негативних електронів у повітрі на робочих місцях забезпечується за допомогою біполярних коронних аероіонізаторів.

Освітлення у виробничих приміщеннях має величезне значення для збереження працездатності та здоров'я працівників, які працюють у офісах. Згідно з ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення», передбачено використання природного та штучного освітлення. Природне освітлення забезпечується через світлові отвори, які гарантують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не менше 1,5%. Для захисту від прямих сонячних променів, які можуть створювати прямі та відбиті блиски на екранах та клавіатурах, використовуються сонцезахисні пристрої, такі як жалюзі або штори на вікнах. Штучне освітлення в приміщенні забезпечується системою універсального рівномірного освітлення, з нормою освітленості на робочій поверхні 200-300 лк. В якості джерел штучного освітлення використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ, ЛД.

6.4 Заходи щодо пожежної безпеки:

Заходи з пожежної профілактики включають організаційні (правильна експлуатація машин, утримання будівель, створення дружин, пожежно-технічних комісій, видання наказів з питань зміцнення пожежної безпеки тощо); технічні (дотримання протипожежних правил, норм при проектуванні будівель, при улаштуванні електроустаткування, опалення, вентиляції та ін.); експлуатаційні заходи (своєчасні профілактичні огляди, ремонт та випробування обладнання); заходи режимного характеру, такі як заборона куріння в недозволених місцях та виконання зварювальних робіт.

7 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

Під час створення сучасних ГТД приймається принцип допустимості в елементах конструкції початкового дефекту. Він реалізується при своєчасному виявленні розвивається до критичного розміру втомної тріщини засобами неруйнівного контролю. Для цього необхідні:

- знання напружено деформованого стану конструкції деталі;
- знання розрахункової довговічності деталі;
- знання загальних закономірностей кінетики зростання тріщини у матеріалі до критичних розмірів;
- знання співвідношення між періодом зростання тріщини до критичного розміру та довговічністю матеріалу деталі при експлуатаційному навантаженні;
- наявність методів та засобів неруйнівного контролю, що забезпечують виявлення дефектів з до критичними розмірами;
- реалізація можливості оглядів в експлуатації критичних зон деталі.

Розглянемо деякі аспекти цієї проблеми.

Причинами втомного руйнування дисків є: конструктивні (високі статичні напруги σ_m , що сприяють при їх циклічній зміні утворенню в зонах концентрації напругитріщинимало циклової втоми; перемінні напруги σ_v , викликаних резонансними або спільними коливаннями системи лопатка), експлуатаційні (корозійні ушкодження, фартинг-корозія у пазах та на фланцях у болтових та шліцевих з'єднаннях), технологічні (неоднорідний структурний стан матеріалу; металургійні дефекти, газонасичені включення або шар; підвищена міцність і знижена пластичність матеріалу, підвищений вміст водню, розтягуючи залишкові напруги).

При високих амплітудах напруги та в зонах контакту тріщини можуть зароджуватися як на поверхні, так і під поверхнею. При зниженні амплітуди

та зростанні довговічності вогнище переміщується на поверхню. При досягненні довговічності 108 і більше циклів осередки руйнування можуть знову переміститися під поверхню. Такого типу вогнища, звані «риб'ячим оком», типові для цементованих зубів шестерень та деталей, підданих інтенсивному поверхневому зміцненню

Руйнування дисків від мало циклової втоми зазвичай мають вигляд фасеткового рельєфу внаслідок зростання тріщини по між фазовими кордонам, які більш чутливі до форми експлуатаційного циклу навантаження та тривалості витримки матеріалу під навантаженням на стаціонарних режимах. Цьому може сприяти утворення залишкових напруги по між фазовими кордонам, межах колоній пластинчастої структури в матеріалі диска в процесі його виготовлення.

У полікристалічних матеріалах, до яких відносяться деформовані жароміцних нікелеві сплави, як у рівноважному, так і в нерівноважному станах існують зони хімічної неоднорідності. Поверхнево-активні речовини накопичуються на поверхнях розділу, до яких відносяться: межі зерен, вакансії комплекси, дефекти упаковки та міжфазні границі. сегрегації. При вмісті в матеріалі елемента, кількість якого складає тисячні частки відсотка, його локальна концентрація може досягати десятків відсотків. Ступінь збагачення поверхонь розділу визначається лише параметрами системи у рівноважному стані. Такі сегрегації називають рівноважними. Ширина збагаченої зони при рівноважній сегрегації залежить від структурної ширини поверхні розділу. Оскільки поле спотвореної структури в зоні кордону зерна не перевищує кількох міжатомних відстаней, то й ширина збагаченої області буде такого ж порядку. Локалізація змін хімічної

Якісний МРСА меж зерен, проведений на нетравлених шліфах досліджених зразків, підтвердив отримані методом ОЕС дані. На кордонах зерен спостерігаються частки на основі Мо,Сг (карбіди або бориди,). З підвищенням температури відбувається їхнє огрубіння. Максимальна кількість частинок спостерігається при 950 ° С. При цій же температурі на

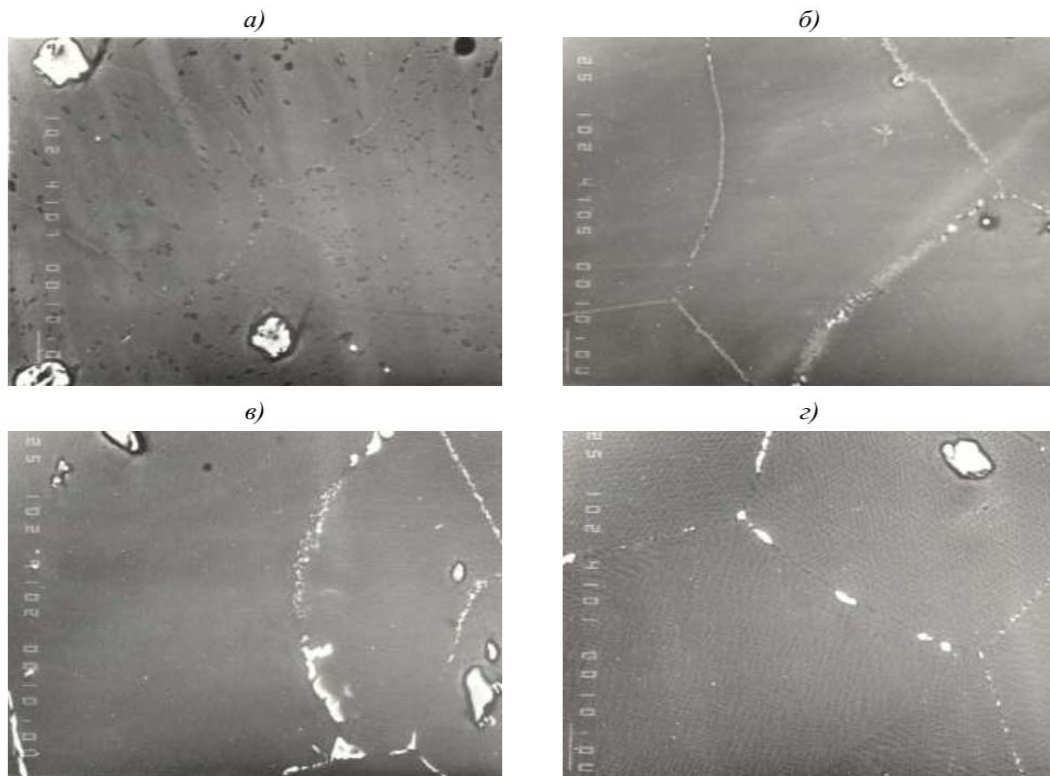
кордонах зерен виявлено частинки, до складу яких входить фосфор, а при 1000°C кількість частинок зменшується. Складу в межах кількох міжатомних відстаней від поверхні розділу є відмінною особливістю рівноважних сегрегації.

При деяких процесах (наприклад, при швидкому охолодженні металу перетину солідус) можливе утворення збагаченої області поблизу кордону зерна шириною кілька мікрометрів. Ширина збагаченої області у цьому випадку буде залежати тільки від швидкості охолодження матеріалу з високої температури. Це протягання називають нерівноважною сегрегацією, і механізм його утворення відрізняється від такої для рівноважної сегрегації. Нерівноважні сегрегації утворюються в результаті захоплення потоками вакансій атомів розчинених у матриці елементів при швидкому охолодженні матеріалу.

Прагнення системи перейти в більш стабільний стан може протягом часу призвести до зміни структури і, отже, властивостей матеріалом. Утворення сегрегації на внутрішніх поверхнях розділу призводить до зміни об'ємних механічних властивостей матеріалу, найбільш типовим проявом якого є хрупкість.

Таким чином, показано аналогічну поведінку (всіх досліджених сплавів у процесі витримки під напругою за різних температур (від 400 до 1000°C). Відбувається ослаблення меж зерен, що виражається у збільшенні частки зерно граничного руйнування при ударі від 40 до 90% від загальної площі зламу. Однак, причини цього явища різні і залежать від температури. До 700°C ослаблення меж зерен відбувається внаслідок утворення поблизу них плоских скупчень дислокацій та додаткового виділення міцніючої γ -фази, а зміни їх хімічного складу не відбувається. З температури 700 ° C починається додаткове збагачення меж зерен фосфором (аналогічні результати отримані в роботах), а з 750 ° C сірою. До температури 850°C шкідливі домішки знаходяться на межах зерен у вигляді сегрегацій, при 900°C і вище фосфору утворює дрібнодисперсні фосфіди. Ці явища спостерігалися у всіх вивчених

сплавах, але більшою мірою ефект зниження міцності кордонів зерен через сегрегації сірки і фосфору проявляється у складно легованому і призначеному для більш високих температур сплаві ЭП962.3 підвищенням температури при збагаченні меж зерен фосфором та сіркою на них також збільшується вміст бору. Збагачення меж зерен жароміцного,



а - 700°C, 204 МПа

б - 800°C, 204 МПа

в - 950 °C, 102 МПа

г - 1000 °C, 51 МПа

Рисунок 7.1 Мікроструктура (1000) зразків зі сплаву 911962 (будова меж зерен) після витримки протягом 200 год при різних температурах і напругах

ВИСНОВКИ

У даній роботі були проаналізовані умови експлуатації диска газової турбіни, на основі яких були висунуті вимоги до матеріалів. Пояснення, чому для виготовлення диска газової турбіни рекомендований сплав ХН35ВТ.

Запропоновано маршрутну технологію виготовлення диска газової турбіни, яка включає наступні операції: Перша - вхідний контроль, Друга – кування, Третя - попереднє механічне оброблення, Четверта – контроль, П'ята - Термічне оброблення, Шосте – контроль, Сьоме - остаточне механічне оброблення, Восьме – контроль

Надана характеристика сплаву ХН35ВТ, а саме зазначено хімічний склад, температури критичних точок, вплив легувальних елементів на структуру та властивості матеріалу. Розглянуто вплив хіміко-термічної обробки на властивості матеріалу.

В четвертому розділі наведене обґрунтування режимів термічної обробки, зроблені розрахунки маси садки, тривалості кожного етапу процесу термічної обробки. Було запропоновано обладнання для термічного та хіміко-термічного обробки. На основі чого була складена технологічна карта та графік термічної обробки диска газової турбіни зі сплаву ХН35ВТЮ.

В п'ятому розділі проаналізовано можливості утворення дефектів на кожному етапі термічної обробки, запропоновано можливості їх усунення та методи контролю.

В шостому розділі запропоновано використовувати правила безпеки охорони праці та засоби індивідуального захисту при проведенні процесів термічної та хіміко-термічної обробки.

В сьомому було описано «Аналіз причин руйнування диска газової турбіни»

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Богуслаєв В.А. Технологічне забезпечення експлуатаційних характеристик деталей ГТ: посібник/ В.А. Богуслаєв та ін. - Запоріжжя: ОАО «Мотор Січ», 2000, - 248 с.
2. Попова Л. Е. Диаграммы превращения аустенита в сталях и раствора в сплавах титана: Справочник/ Л.Е.Попова, А.Л.Попов - М.: Металлургия, 1991. – 504 с.
3. Бялік О. М. Металознавство: Підручник / О.М.Бялік, В.С.Черненко, В.М.Писаренко, Ю.М.Москаленко - Київ: ІВЦ Політехніка, 2001. – 375 с.
4. Афтанділянц Є.Г. Матеріалознавство: підручник/ Є.Г.Афтанділянц, О.В.Зазимко, К.Г.Лопатько - Київ: Вища освіта, 2012. – 548 с.
5. Дяченко С. С. Матеріалознавство: підручник / С.С.Дяченко, І.В.Дощечкіна, А.О.Мовлян, Е.І.Плешаков - Харків: ХНАДУ, 2007. – 440 с.
6. Пахолюк А. П. Основи матеріалознавства і конструкційні матеріали: підручник./ А.П.Пахолюк, О.А.Пахолюк - Львів: Світ, 2002. – 172 с.
7. Мережко Н. В. Матеріалознавство і технологія матеріалів: підручник для вищих навч. закл. / Н.В.Мережко, Н.К.Зіміна, С.О.Сіренко, О.І.Сім'ячко - Київ: нац. торг.-екон. Ун-т, 2010. – 352 с.
8. Гапонова О.П. Сталі та сплави з особливими властивостями./ О.П.Гапонова, А.Ф.Будник - Суми: СумДУ, 2014. – 240 с.
9. Дурягіна З.А. Сплави з особливими властивостями: навч. посіб./ З.А.Дурягіна, О.Я.Лизун, В.Л.Пілюшенко - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2007. – 236 с.
10. Grujicic, M. A Comparative Analysis of the Mechanical Response of Ni-Based Superalloy for Turbine Disk Application to a Family of High-Strength Steels: // M. Grujicic, N. Arakere & R. Yavari // Experiments and Simulations. Materials Science and Engineering, 2009. – 508 С. це журнал ?

11. Лазечний І.М. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної бакалаврської дипломної роботи для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство» / І.М. Лазечний, О.В. Климов, О.А. Глотка, Ю.І. Кононенко, О.В. Лисиця. - Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022. – 57 с.

12. Кольорові метали та сплави: навч. посіб. Ч. 1: Мідь та мідні сплави / А. Богун та ін.; за заг. ред. З. Дурягіної. - Львів: Вид-во Львів, 2017. – 122 с.

ДОДАТОК А

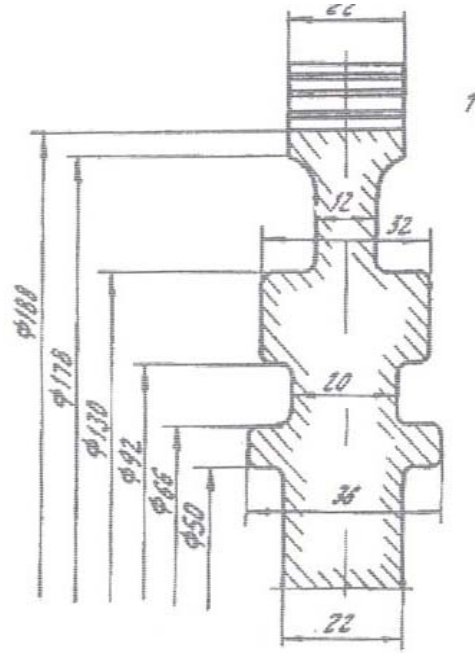
ЕСКІЗ ДИСКУ ГАЗОВОЇ ТУРБИНИ, НОМЕНКЛАТУРА, ХІМІЧНИЙ
СКЛАД ТА ВЛАСТИВОСТІ

Рисунок А.1 – Диск газової турбіни

Хімічний склад наведено у таблиці А.1

Марка сталі	Вміст елементів (% мас.) ГОСТ 5632										
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	W	S	P	Cu
ЭИ612	0,12	0,6	1,0- 2,0	14,0- 16,0	34,0- 38,0	0,3	1,1- 1,5	2,3-3,5	0,02	0,03	0,25

Таблиця А.2 – Механічні властивості сплаву ХН35ВТ (ЭИ612)

Т _{випр.} , °С	σ _в , МПа	σ _{0,2} , МПа	δ, %	ψ, %	КСУ КДж/м ²
20	850	550	18	40	600

200	740	440	20	37	1400
-----	-----	-----	----	----	------

Кінець таблиці А.2

300	730	440	16	30	900
400	710	440	19	35	1000
500	680	420	15	23	900
550	680	420	17	37	1300
600	640	400	15	30	650
630	630	390	21	27	1000
650	510	370	10	15	1000
700	460	370	9	11	1000

ДОДАТОК Б

ГРАФІК ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ДИСКУ ГАЗОВОЇ ТУРБИНИ

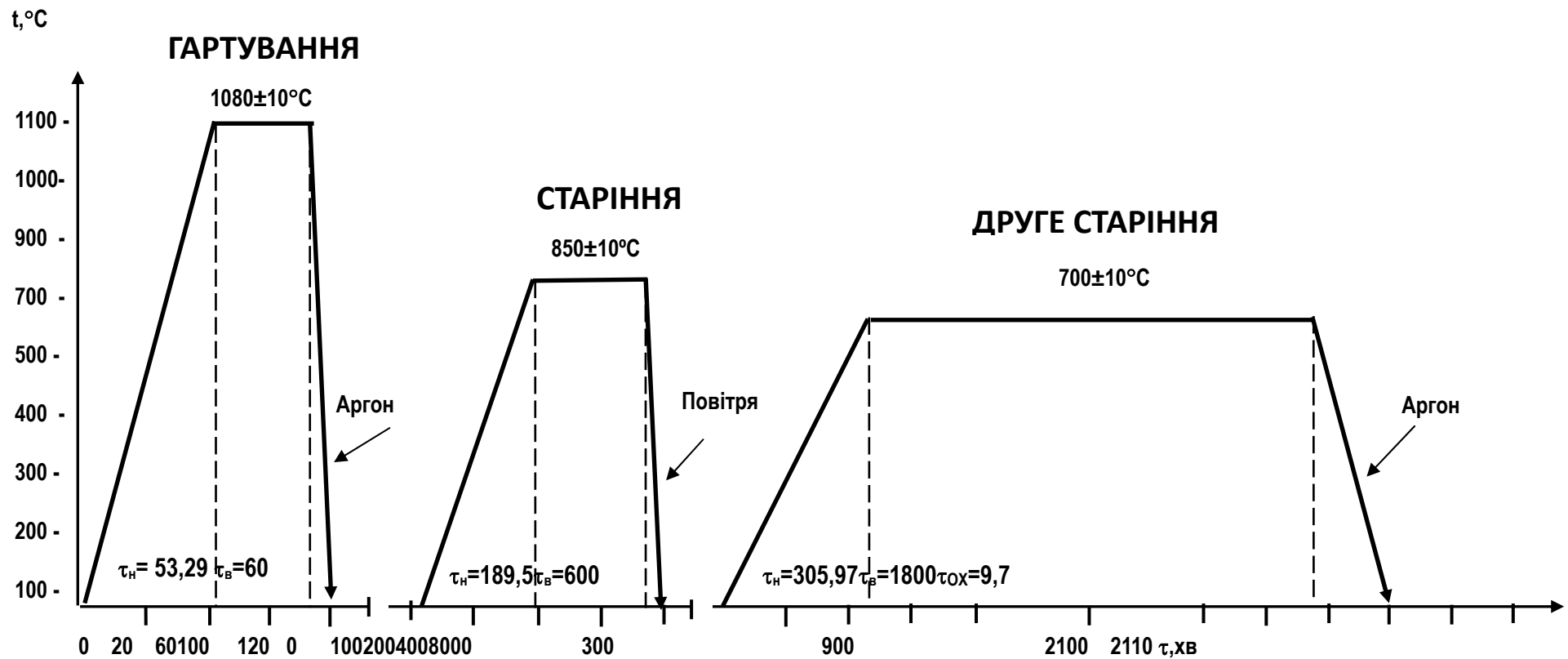


Рисунок 4.1 – Графік термічної обробки диску газової турбіни зі сплаву ХН35ВТ.