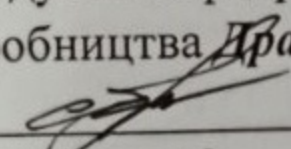


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Кораблебудівний навчально-науковий інститут

Кафедра зварювального виробництва

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри зварювального
виробництва *Драган С.В.*


«11» 12 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

**на тему: Дослідження температурних полів при локальному нагріві
пластини із жароміцного нікелевого сплаву методом комп'ютерного
моделювання**

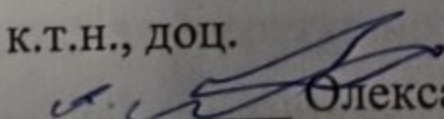

Виконав: студент групи 6121м

Дмитро АНДРІЄВСЬКИЙ

(підпис)

Керівник роботи:

к.т.н., доц.

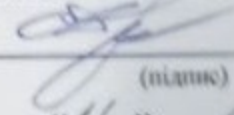

Олександр ЛАБАРТКАВА

(підпис)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Кораблебудівний навчально-науковий інститут

Кафедра зварювального виробництва
Спеціальність 131 «Прикладна механіка»
Освітня програма «Інжиніринг зварювання та споріднених процесів»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Гарант освітньої програми


(підпис)
« 11 » 12 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

Студенту Андрієвському Дмитро Олександровичу

1. Тема роботи: Дослідження температурних полів при локальному нагріві пластини із жароміцного нікелевого сплаву методом комп'ютерного моделювання

Керівник роботи к.т.н., доцент, Лабарткава Олександр Володимирович

Затверджені наказом ректора № ____ від « ____ » _____ 2025 року

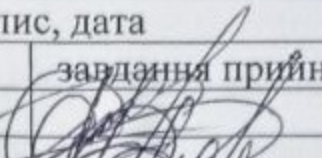
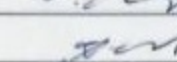
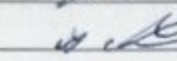
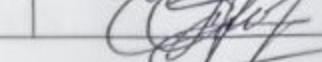
2. Термін подання роботи: 10.12.2025

3. Вихідні дані по роботі: температурних поля, локальний нагрів, жароміцний нікелевий сплав, комп'ютерне моделювання.

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів): 1. Аналіз літератури відносно особливостей лопаток соплового апарату ГТД, відновлення їх після лиття та методів комп'ютерного моделювання температурних полів при наплавленні; 2. Вибір методики розрахунку температурних полів при локальному нагріві; 3. Дослідження температурних полів жароміцних нікелевих сплавів при використанні локального джерела нагріву для виправлення дефектів лиття; 4. Охорона праці; 5. Охорона навколишнього середовища.

5. Перелік презентаційних матеріалів: мета, цілі, математична модель, властивості матеріалу та граничні умови, поля розподілу температур, епюри розподілу температур, термічні цикли загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

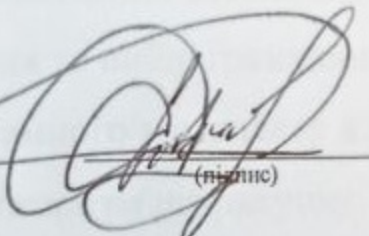
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1.	Лабарткава О.В.		
2.	Лабарткава О.В.		
3.	Лабарткава О.В.		
4.	Лабарткава О.В.		
5.	Лабарткава О.В.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз літератури відносно особливостей теплообігріву теплового апарату ТМД		
2.	Вибір методички розрахунку термодинамічних показників при локальному нагріві		
3.	Визначення термодинамічних показників при локальному нагріві		
4.	Оцінка праці		
5.	Оцінка навколишнього середовища		

Студент

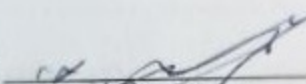


(підпис)

ДМИТРО АНДРІЄВСЬКИЙ

(ПІБ)

Керівник роботи



(підпис)

Олександр ЛАБАРТКАВА

(ПІБ)

Анотація

Тема: Дослідження методом комп'ютерного моделювання температурних полів при локальному нагріві пластини із жароміцного нікелевого сплаву.

В роботі досліджували розподіл температур при локальному джерелі нагріву на жароміцні нікелеві сплави. Моделювання полів температур проводилося із застосуванням методу скінченних елементів, при постійній потужності джерела нагрівання з різними діаметрами плями нагріву від 6 до 12 мм. При цьому зі збільшенням діаметра відбувалося зменшення щільності теплового потоку від 20 МВт/м² до 5 МВт/м². При складанні моделі враховували залежність коефіцієнта теплопровідності і ентальпії сплаву від температури, механічні властивості сплаву приймалися середніми, в інтервалі температур 20-1000 °С.

У дипломному проекті також розглянуті питання охорони праці та захисту навколишнього середовища.

Ключеві слова: моделювання, температурні поля, комп'ютерна модель.

					КР.131.6121м.05.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Annotation

Subject: A study by computer simulation of temperature fields at local heating plate with a heat-resistant nickel alloy.

In the study of the temperature distribution at a local heating source to heat-resistant nickel alloys. Modeling was performed with the temperature fields using the finite element method, heating at a constant power source with different diameters of heat stains from 6 to 12 mm. At the same time with an increase in diameter caused a decrease of the heat flux of 20 MW /m² to 5 MW/m². When preparing models take into account the dependence of the thermal conductivity coefficient of the alloy and the enthalpy of the temperature, the mechanical properties of the alloy were taken medium, in the temperature range 20-1000 °C

The thesis project also addressed issues of occupational safety and environmental protection.

Key words: modeling, temperature fields, computer model.

					КР.131.6121М.05.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

ВСТУП.....	
1. Аналіз літератури відносно особливостей лопаток соплового апарату ГТД, відновлення їх після лиття та методів комп'ютерного моделювання температурних полів при наплавленні.....	
1.1. Умови експлуатації лопаток соплового апарату ГТД.....	
1.2. Вибір матеріалів в залежності від умов експлуатації.....	
1.3. Склад, структура та властивості жароміцних нікелевих сплавів.....	
1.4. Технологія виготовлення деталей ГТУ.....	
1.5. Відновлення деталей лопаток після лиття та їхні дефекти.....	
1.6. Комп'ютерне моделювання температурних полів.....	
Висновки і завдання роботи.....	
2. Вибір методики розрахунку температурних полів при локальному нагріві....	
2.1. Суть методу скінчених елементів.....	
2.2. Фізична сутність методу скінчених елементів.....	
2.3. Математична сутність методу скінчених елементів.....	
2.4. Вибір типу скінчених елементів.....	
2.4.1. Завдання та вибір граничних умов.....	
2.5. Вибір програмного комплексу для моделювання температурних полів...	
2.6. Загальний алгоритм розрахунку.....	
Висновки.....	
3. Дослідження температурних полів жароміцних нікелевих сплавів при використанні локального джерела нагріву для виправлення дефектів лиття.....	
3.1. Варіант моделі для розрахунку температурних полів.....	
3.2. Результати дослідження температурних полів при використанні локального джерела нагріву.....	
3.3. Аналіз термічних циклів при різних діаметрів плями нагріву.....	
Висновки.....	
4. Охорона праці.....	
Вступ.....	

					КР.131.6121м.05.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.1.Загальні вимоги до техніки безпеки під час роботи за комп'ютером.....	
4.2.Заходи, щодо зменшення впливу шкідливих виробничих факторів при експлуатації ЕОМ.....	
4.3.Розрахунок загального освітлення науково – дослідної лабораторії.....	
4.4.Заходи, щодо зменшення шкідливого впливу на здоров'я та Працездатність.....	
Висновки.....	
5. Охорона навколишнього середовища.....	
Вступ.....	
5.1.Аналіз шкідливого впливу на навколишнє середовище при наплавленні..	
5.2.Вибір і опис засобів очищення повітря при наплавленні.....	
5.3.Заходи щодо скорочення негативного впливу.....	
5.4.Заходи щодо зниження впливу шкідливих факторів виробництва на навколишнє середовище.....	
Висновки.....	
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	

					КР.131.6121м.05.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					КР.131.6121м.05.00.ПЗ						
Изм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
					Вступ				Лит.	Арку	Аркуш
Студент	Андрієвський Д.О.										
Керівник	Лабарткава О.В.								НУК ім. адмірала Макарова		
Зав.Кафед.	Драган С.В.										

ВСТУП

У роботі розглядається дослідження методом комп'ютерного моделювання температурних полів при локальному нагріві пластини із жароміцного нікелевого сплаву.

Відомо, що розміри зварного шва, структура зони термічного впливу зварної конструкції значною мірою визначаються тепловими процесами, зокрема характером температурних полів. Існуючі методики розрахунку температурних полів, які базуються на положеннях теорії розповсюдження тепла при зварюванні, не дозволяють з достатньою точністю описати розподіл температур у зварному з'єднанні з урахуванням впливу кінцевих ділянок шва, виробках складного поперечного перерізу або при застосуванні комбінованих (гібридних) способів зварювання.

Застосування комп'ютерного моделювання на основі МСЕ, який широко використовується у всьому світі, дозволить суттєво підвищити точність розрахунків температурних полів, спростити процес оптимізації зварювального режиму, описати НДС зварної конструкції майже будь-якої складності. Тому розробка комп'ютерної моделі для моделювання температурних полів при зварюванні з використанням МСЕ є актуальною задачею.

Практичне використання комп'ютерного моделювання і обчислювальних методів потребує певної кваліфікації дослідника, знань та вмінь. Само по собі використання комп'ютерної техніки, навіть за наявності на сьогоднішній день великої кількості спеціалізованих пакетів програм, ще абсолютно не гарантує отримання розв'язку тієї або іншої проблеми. Особливо важливим є вміння сформулювати математичну модель, яка буде адекватно описувати фізику процесу, правильно вибрати та коректно реалізувати метод розв'язання поставленої задачі, виконати аналіз та фізичну інтерпретацію одержаних результатів.

Комп'ютерне моделювання виконано на базі однієї з найбільш відомих та розповсюджених програмних систем скінчено елементного моделювання ANSYS. Розробку цього програмного комплексу розпочато в першій половині

					КР.131.6121м.05.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

70-х років, але на теренах СНД він з'явився приблизно 10 років тому. Зараз ANSYS активно опановується нашими співвітчизниками, які досить вдало застосовують МСЕ для розрахунку з'єднань різнорідних матеріалів.

У сучасних галузях промисловості, таких як суднове машинобудування, енергомашинобудування останнім часом намітилася тенденція до збільшення виробів, що поєднують в собі одночасно високу міцність і пластичність, жароміцність і жаростійкість, гарячу твердість і термостійкість при експлуатації їх робочих поверхонь в умовах, близьких до граничного стану самого матеріалу. Зокрема, до таких виробів відносяться деталі гарячого тракту суднових газотурбінних двигунів (ГТД), які працюють в умовах високих температур, тисків, статичних і динамічних навантажень. У зв'язку з цим вони виготовляються з високолегованих ливарних жароміцних нікелевих сплавів. При виготовленні деталей гарячого тракту, наприклад, лопатки соплових апаратів, в силу різних технологічних причин можливе утворення поверхневих дефектів лиття (пори, рихлоти.). Для збереження експлуатаційних властивостей лопатки соплового апарату, представляється перспективним використовувати для усунення поверхневих дефектів лиття процес нагрівання локальним джерелом.

					КР.131.6121м.05.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ					
Изм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
					Аналіз літератури відносно особливостей лопаток соплового апарату ГТД			Лит.	Арку	Аркуш
Студент	Андрієвський Д.О.									
Керівник	Лабарткава О.В.									
Зав.Кафед.	Драган С.В.							НУК ім. адмірала Макарова		

1. Аналіз літератури відносно особливостей лопаток соплового апарату ГТД, відновлення їх після лиття та методів комп'ютерного моделювання температурних полів при наплавленні

1.1. Умови експлуатації лопаток соплового апарату ГТД

Однією з найважливіших завдань вдосконалення ГТД є підвищення їх надійності, ККД і ресурсу.

В експлуатації крім силових факторів, що визначаються конфігурацією лопаток і дією зовнішніх сил (статичних, газодинамічних та вібраційних), на лопатки діє ряд інших факторів, пов'язаних з особливостями впливу середовища, в якому експлуатується двигун: попадання сторонніх предметів, корозія, зміна температури, ерозія, знос, фретінг-корозія і т. д.

Силові фактори, за винятком вібраційних і в якійсь мірі, циклічних, досить точно прогнозуються і враховуються на стадії проектування; решта чинників складно передбачувані. В цілому розрахункові методи не дають можливості з достатньою достовірністю оцінити працездатність лопаток компресора, яка в основному перевіряється в процесі доведення шляхом широких досліджень напруженості [1].

Найбільшою мірою на працездатність лопаток впливає :

а) "звичайна" втома (змінні напруження, пов'язані з вібраціями, перевершують втомну міцність матеріалу);

б) зниження втомної міцності;

в) пошкодження (порушення форми);

г) ерозія дрібними частками (пісок);

д) корозія

Ресурс двигуна визначається тривалістю надійної роботи самого ослабленого вузла або деталі. У найбільш важких умовах працюють вузли і деталі, що входять в високотемпературний тракт. До числа найбільш

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навантажених вузлів відносяться соплові апарати ГТД. Профільна і замкові частини лопатки відчують напруження, внаслідок розтягування і вигину від вібраційних навантажень, а також термічні напруження, обумовлені теплосменами - швидкий нагрів у момент запуску і швидке охолодження в момент зупинки двигуна.

Умови роботи соплових апаратів змушують пред'являти до матеріалів деталей з яких вони виготовляються, ряд специфічних вимог:

- Висока жароміцність;
- Пластичність, необхідна для рівномірного розподілу напружень по всьому перетину;
- Висока втомна міцність;
- Стабільність структури, що забезпечує незмінність механічних властивості під час експлуатації;
- Хімічна інертність до продуктів згоряння палива;
- Стійкість до газової корозії та ерозії при високих температурах;
- Технологічність у процесі лиття, а також при механічній обробці.

Для вузлів гарячого тракту ГТД застосовуються жароміцні і жаростійкі сплави на основі нікелю, леговані хромом, вольфрамом, молібденом, титаном, бором та ін. елементами. Жароміцні властивості сплаву в дуже сильному ступені залежать від його структурного стану, величини зерна[2].

1.2. Вибір матеріалів в залежності від умов експлуатації

Вибір матеріалів при виготовленні деталей ГТУ, що працюють при підвищених температурах, передбачає необхідність враховувати специфіку їх напруженого стану та особливостей експлуатації турбін різного призначення. Наприклад, ресурс ракет та їх силових установок складає близько однієї години; двигунів літаків-винищувачів –100 год.; літаків цивільної авіації – 1000 год.; газових турбін для локомотивів та суден – 10000 год.; газових

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

турбін для стаціонарних силових установок – 30000 год.; парових турбін для стаціонарних силових установок – 100000 год.[1,3].

Основними параметрами, що впливають на вибір матеріалу деталей гарячого тракту ГТУ, є наступні:

- ✓ робоча температура деталі;
- ✓ ступінь нерівномірності температури за перерізом деталі;
- ✓ вид та склад палива;
- ✓ ступінь установки.

Температура газу на вході до турбіни впливає на ефективність газової турбіни, із збільшенням цього показника підвищується рівень коефіцієнта корисної дії двигуна. Призначення турбіни визначає необхідний рівень температури на вході до турбіни. Для стаціонарних турбін ця температура не перевищує 960–1060°C, для для пікових турбін – 1065–1100°C, у випадку авіаційних турбін – 1300°C [3].

1.3. Склад, структура та властивості жароміцних нікелевих сплавів

Нікелеві жароміцні сплави мають складне легування, вміст елементів коливається в межах (% мас.): 0,06 ... 0,20 С, 0,3 ... 1,0 Мп, 0,3..1,0 Si , 8,0 ... 22 Cr, 0 ... 20 Со, 0 ... 10 Мо, 0 ... 11 W, 0 ... 4,0 Ti, 0. ..6 Al, до 5 Fe, невеликі концентрації ніобію, цирконію, гафнію, церію, бору. Сумарний вміст алюмінію та титану зазвичай не перевищує 8.0%, а в деяких сплавах їх замінюють ніобієм і танталом [5]. Останнім часом у ряді країн в найбільш жароміцні сплави вводять цирконій і гафній [5]. Легування гафнієм застосовується також у вітчизняному сплаві ЧС-88, призначеному для виготовлення суднових газотурбінних двигунів та газоперекачувальних установок.

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Жароміцні сплави мають складне легування, однак по спільності дії легуючих елементів їх можна об'єднати в окремі класи. Таке об'єднання елементів добре проілюстровано в роботі [4]. Декер Р.Ф. і Сімс Ч.Т. виділяють 3 основних класу елементів.

Перший клас включає елементи, що утворюють аустенітну матрицю з графентрованою кристалічної (г.ц.к.) ґратами: нікель, кобальт, залізо, хром, молібден, вольфрам, ванадій. Другий клас включає елементи, що сприяють утворенню γ' - фази: алюміній, титан, ніобій, тантал. Третій клас включає магній, бор, вуглець і цирконій, які мають велике розходження з нікелем в атомних діаметрах по межах зерен [4].

Крім трьох головних класів виділяються два підкласу. У перший підклас включаються карбідотворюючі елементи: хром, молібден, вольфрам, ванадій, ніобій, тантал і титан. До другого належать хром і алюміній, що утворюють щільні оксидні захисні плівки.

Мікроструктура нікелевих сплавів являє собою матрицю з г.ц.к. ґратами, що містить карбіди і когерентну інтерметалідним γ' -фазу. Зміцнення досягається за рахунок легування матриці молібденом, вольфрамом і хромом і за рахунок легування алюмінієм, титаном, ніобієм і танталом, що утворюють з нікелем γ' - фазу $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$ з частковим заміщенням алюмінію та титану іншими елементами (дисперсійне зміцнення). Хром, молібден, вольфрам і тантал утворюють карбіди, зміцнюючи кордону зерен. Алюміній і хром забезпечують стійкість до окислення, хром і титан підвищують стійкість до газової корозії, однак збільшення концентрації хрому знижує температуру розчинення γ' - фази і максимальну робочу температуру сплаву.

Легування кобальтом підвищує температуру розчинення γ' - фази, покращуючи цим жароміцність сплаву.

Алюміній і титан є основними елементами, що утворюють зміцнюючу γ' -фазу. При підвищенні їх вмісту в сплаві зростає кількість γ' -фази. У ряді

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сплавів титан відсутня. У цьому випадку підвищення кількості алюмінію до 5-6% забезпечує утворення необхідної кількості γ' -фази [5]. Обмеження верхньої межі вмісту цих елементів обумовлено зниженням температури солідусу сплавів і утворенням небажаної фази, що приводить до зниження жароміцності.

У багатьох жароміцних сплавах вводяться мікродобавки бору, ніобію, церію, барію, ванадію. Бор, виділяючись при старінні сплаву у вигляді боридних фаз переважно по межах зерен, гальмує дифузійні процеси і підвищує жароміцність. Мікролегування цезієм підвищує жароміцність сплавів за рахунок зв'язування легкоплавких домішок (S, Pb, Sb та ін.) В тугоплавкі сполуки. Невеликі добавки Zr безпосередньо беруть участь в утворенні γ' -фази, замінюючи в ній частина Ti, і кілька підвищують жароміцність. Барій в кількостях 0,05-0,1% також підвищують жароміцність сплавів. Введення до 1-4,5% ванадію не надає вплив на тривалу міцність, а при більш високому вмісті, погіршує її. Однак невеликі присадки ванадію (0,3-0,5%) застосовуються як засіб поліпшення деформованості сплавів.

Зміст вуглецю в сплавах зводять до мінімуму, так як його підвищений вміст несприятливо позначається на жаростійкості і повинно компенсуватися збільшенням вмісту хрому. Крім того, вуглець знижує схильність до старіння і температуру старіння дисперсійно-твердіючих нікелевих сплавів.

Марганець і кремній є постійними елементами, відсутніми у складі жароміцних сплавів. Навіть невеликі добавки (1,0%) цих елементів погіршують жароміцність. У той же час введення кремнію (до 2%) сприяє підвищенню їх окалинотійкості.

Аналіз фазового складу більшості розглянутих сплавів на нікелевій основі показує, що їх основою є твердий розчин хрому в нікелі (γ' фаза), легований кобальтом, молібденом і вольфрамом. Крім того, сплави можуть містити від 30 до 60% γ' -фази і близько 2-2,5% карбідів і боридів [5].

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Карбідні фази. У жароміцних сплавах на нікелевій основі утворюються наступні типи карбідів: MC , M_2C , M_3C , M_6C , $M_{12}C$ [3].

Сплави на нікелевій основі, леговані бором (зазвичай в межах 0,002-0,06%), містять бориди, що спостерігаються в основному по межах зерен. Найчастіше зустрічаються бориди M_3B_2 . До складу боридів можуть входити Mo , Ti , W , Cr , Ni .

В даному дипломному проекті використовується сплав ЧС - 88.

Характеристика сплаву ЧС - 88

Марка: Сплав ХН57КВЮТМБРЛ (ЧС88У; ХН57КВЮТМБЛ (ЧС88))

Класифікація: Сплав жароміцний на нікелевої основі

Можливі позначення в літературі Сплав ХН57КВЮТМБРЛ;
ХН57КВЮТМБЛ; ХН57КВЮТМБРЛ-ВІ; ХН57КВЮТМБЛ;
ХН57КВЮТМБЛ-ВІ; ЧС88; ЧС88-ВІ

Призначення: Сплав ХН57КВЮТМБРЛ застосовується: для виробництва литих прутків вакуумно-індукційного переплаву, призначених для виготовлення деталей енергетичного машинобудування, що працює при температурах до 1150 ° С.

Примітка: Жароміцний сплав на нікелевій основі з гафнію

Таблиця 1.1. Хімічний склад в % сплаву ЧС – 88

Co	Cr	W	Mo	Nb	Al	Ti	C	Hf	B	Zr
11,7	15,8	5,3	1,96	0,15	3	4,6	0,07	0,3	0,09	0,03

Основою багатьох жаростійких нікелевих сплавів є система $Ni-Cr$ (рис. 1.1). При кімнатній температурі розчинність хрому в нікелі складає приблизно 30%. Легування хромом підвищує стійкість проти окислення при високих температурах. Мінімальна кількість хрому що забезпечує захист від корозії – (20–25)%. Висока жаростійкість у сплавах системи зумовлена утворенням під зовнішнім тонким шаром окислу NiO прошарку Cr_2O_3 , що має низьку швидкість росту та шпінелі $NiCr_2O_4$ [6].

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

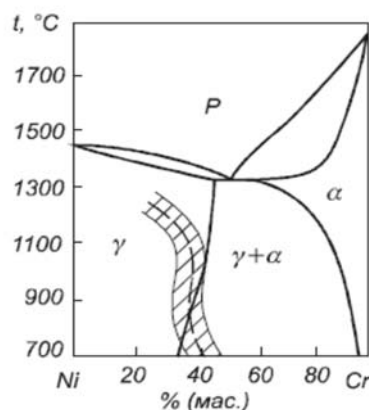


Рис 1.1 – Діаграма стану Ni–Cr (І.І.Корнілов).
Заштриховано область сплавів з максимальним опором
повзучості при різних температурах

Сплави на основі системи Ni–Cr мають незадовільний рівень жароміцності, додаткове легування алюмінієм (Al) призвело до утворення γ' - фази (твердого розчину на основі інтерметаліду Ni_3Al з ГЦК граткою). Параметри твердого розчину на основі нікелю та γ' – фази близькі ($a_\gamma \approx a_{\gamma'}$), між гратками існує когерентний тип зв'язку. [6]. Відповідно до діаграми стану системи Al–Ni (рис. 1.2) розчинність алюмінію в нікелі; знижується з 11% (мас.) при 1385°C до 6% при 750°C.

Нікель є основою найбільш поширених на сучасному етапі жароміцних сплавів для деталей ГТУ. Передумовами широкого використання цих сплавів є висока температура плавлення та щільне пакування гратки нікелю. В ГЦК гратці дифузійна рухомість атомів менша за ОЦК [7].

Жароміцні сплави на основі нікелю поділяють за способом виготовлення деталей на три групи: деформовані, ливарні, отримані методом порошкової металургії.

Нікелеві сплави маркують умовними позначеннями, що не мають зв'язку з хімічним складом (наприклад, ЭИ437Б, ЭП742, ВЖЛ-12У, ЧС-70ВИ, ЖС6У), або використовують систему позначень подібну до сталей. В останньому випадку марка сплаву складається з букв, що позначають

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

елементи, що входять до його складу: Н – нікель, Х – хром, Т – титан, Ю – алюміній, Р – бор, В – вольфрам, М – молібден, Б – ніобій, К – кобальт. Позначення сплаву починають з букви „Х”, потім вказується буква „Н” та цифра, що відповідає середньому вмісту нікелю, потім – букви, що вказують на присутність інших елементів. Послідовність букв залежить від вмісту елементів. Наприклад, сплав ХН70МВТЮБ містить 70%Ni, 5%Mo, 3%W, 2,4%Ti, 1,3%Al, 0,9%Nb, решта – 17%Cr. [5]. Хімічний склад деяких жароміцних сплавів на основі нікелю наведено в табл. 1.2.

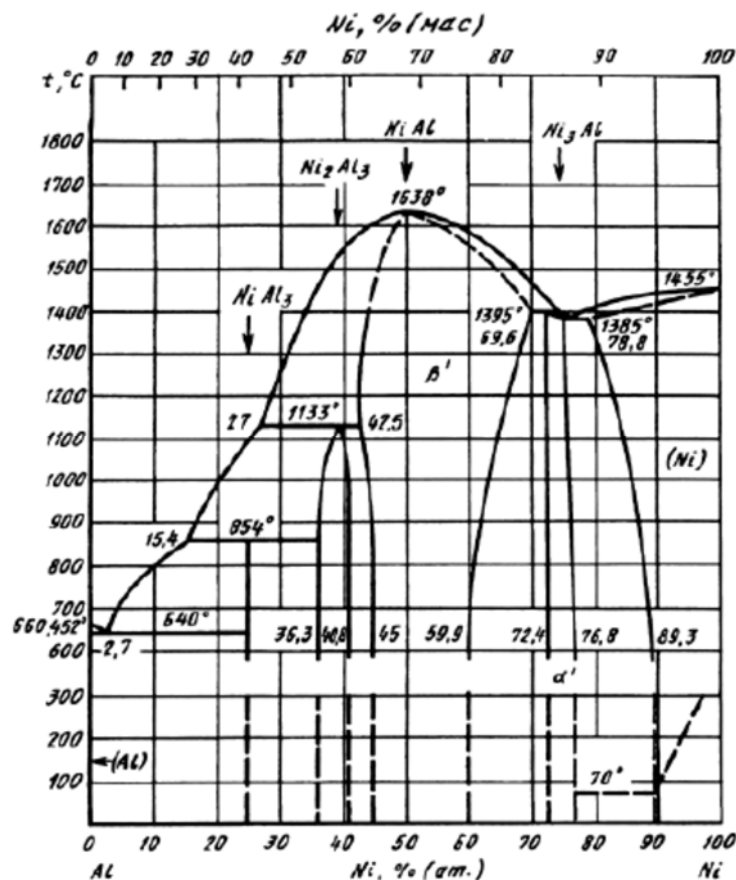


Рис.1.2 – Діаграма стану системи Al-Ni

Рівень жароміцності, технологічність, експлуатаційні властивості жароміцних сплавів значною мірою визначаються технологією виробництва. Суттєве значення мають метод плавлення та кристалізації, технологія гарячої обробки тиском, умови механічної обробки. Нікелеві сплави плавлять у відкритих індукційних або дугових печах, методом вакуумного індукційного

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

плавлення з подальшим переплавленням металу в вакуумно-дугових печах. При необхідності високої чистоти плавлення проводять електронно-променевим способом. Для виготовлення якісних матеріалів використовують чисті шихтові суміші, вміст шкідливих домішок (свинець, сурма, вісмут, кадмій та ін.) не перевищує в них 10–3–10–4% (за масою) [6].

Таблиця 1.2 – Хімічний склад жароміцних сплавів на основі нікелю

Марка за ГОСТом	Умовне позначення сплаву	Вміст елементів, %								
		C	Cr	Co	Ti	Al	W	Mo	B	інші
Деформовні сплави										
ХН77ТЮР	ЭИ437Б	0,07	19-22	-	2,4-2,8	0,6-1,0	-	-	≤ 0,01	-
ХН70ВМТЮ	ЭИ617	0,12	13-16	-	1,8-2,3	1,7-2,3	5-7	2-4	≤ 0,02	0,1-0,5V
ХН70ВМТЮФ	ЭИ826	0,12	13-16	-	1,7-2,2	2,4-2,9	5-7	2,5-4,0	≤ 0,01	0,2-1,0V
ХН55ВМТФКЮ	ЭИ929	0,12	9-12	12-16	1,4-2,0	3,6-4,5	4,5-6,5	4-6	≤ 0,02	0,2-0,8V
ХН73МБТЮ	ЭИ698	0,08	13-16	-	2,3-5-2,7-5	1,3-1,7	-	2,8-3,2	-	1,8-2,2V
ХН62ВМКЮ	ЭИ867	0,10	8,5-10,5	4-6	-	4,2-4,9	4,3-6,0	9-11,5	≤ 0,02	
Ливарні сплави										
	ЭП539ЛМ	0,08-0,15	17,0-18,5	4,0-6,0	2-3	3-4	2,5-4,0	4,5-6,5	0,02-0,04	0,02Ce, 1,2-1,8Nb, ≤1Fe
	ЖС6К	0,13-0,2	9,5-12,0	4,0-5,0	2,5-3,2	5-6	4,5-5,5	3,5-4,8	0,02	0,015Ce
	ЖС3	0,11-0,16	14-18	-	1,6-2,3	1,6-2,2	4,5-6,5	3-4,5	-	-
	ЗМН 3	≤0,1	12,5-14,0	5,0-6,0	4,5-5,5	2,8-3,2	4-6	1,5-2,5	0,01-0,05	0,02-0,05Ce, 0,05-0,1Nb, 0,005-0,01Zr
	ЧС70ВН	0,06-0,12	15,0-16,7	9,5-12,5	4,2-5,0	2,4-3,2	4,5-6,0	1,5-2,5	0,02	0,1-0,25Nb, 0,05Zr
	ЧС104ВН	0,07-0,15	18,0-19,0	8,0-12,0	3,8-4,2	1,8-2,3	4-6,0	1,5-2,0	0,005-0,02	0,2-0,8Nb, 0,005-0,02Zr

1.4. Технологія виготовлення деталей ГТУ

При виготовленні деталей ГТУ є можливим використання різних матеріалів та технологій. Досить широко використовується деформація (штампування, кування), заготовки отримують литтям або з сортового прокату. У виготовленні деталей може бути передбачено операції зварювання,

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

різання. Деякі деталі отримують литтям, одним з варіантів є прецизійне лиття (використовується для відповідальних деталей, наприклад, лопаток турбіни).

Прецизійне лиття. Прецизійне лиття передбачає виготовлення деталей високого класу точності з якісною поверхнею, надає можливість отримувати вироби складної форми з отворами та каналами. Модель виготовляється з воску, пресується у металевих штампах. Для отримання внутрішніх отворів використовують стрижні, що виготовляють з окису кремнію або іншої кераміки. Декілька моделей збирають у блоки вздовж спільного літника [8]. Восковий блок занурюють у суспензію, що складається з дисперсного порошку вогнетривкої кераміки у рідині. Після цього на вологу модель наносять керамічний матеріал з більшим розміром частинок. після сушки утворюється прошарок кераміки на поверхні моделі. Процес повторюють кілька разів, після чого модель видаляють з оболонки. Процес видалення не передбачає руйнування оболонки та стрижнів, якщо вони є в конструкції деталі. Форму після прогрівання заповнюють рідким металом, найчастіше в вакуумній індукційній печі. Форма середнього розміру вміщує 5-10 кг металу, дозволяє отримувати від 1 до 50 деталей. Для виготовлення, наприклад, суцільнолитих роторів для стаціонарних енергетичних установок необхідні відливки масою 40 кг та більше. Цикл заливки форми у випадку лопатки турбіни складає 5-12 хв., підігрів форми при 870-1090°C триває 2-4 год.[1, 2].

При литті жароміцних сплавів брак може складати від 5 до 80%. Вихід якісних деталей залежить від матеріалу та складності відливок. Наприклад, при литті лопаток складної форми з довгими вузькими каналами та тонкими стінками вихід якісних деталей може складати 20%. Основною причиною браку в цьому випадку, є руйнування та деформація стрижнів. Окрім пошкодження стрижнів у відливках можуть бути такі дефекти як невідповідний вимогам розмір зерна, внутрішня усадка, неметалеві включення. Для контролю дефектів литих деталей турбін застосовують

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

флуоресцентний метод з використанням проникаючого барвника, радіографічні методи. Контроль дозволяє виявляти дефекти, розміри яких складають 1% від товщини деталі, наприклад дефекти діаметром 0,012 мм в деталі з товщиною 1,2 мм [2].

Механічна обробка литих лопаток передбачає глибинне шліфування хвостовиків та бандажних полиць. За цією технологією за один, два проходи знімається повний припуск на обробку, величина цього припуску знаходиться в діапазоні від десятих до десятків міліметрів. Порівняно із традиційною багатостадійною механічною обробкою глибинне шліфування зменшує кількість операцій різання, скорочує час обробки, підвищується точність обробки та зменшується шорсткість $R_a=0,8\ldots1,2$ мкм. При глибинному шліфуванні підвищується границя витривалості на 4-7% (за рахунок створення сприятливих напружень стискання в тонкому поверхневому шарі). За необхідності додаткової стабілізації та підвищення витривалості хвостових частин лопаток турбін, після шліфування виконують стабілізуючу термічну обробку з подальшим поверхневим зміцненням [2].

Технологічний процес термообробки (гартування) лопаток ГТУ.

Деталі та зразки надходять на термічну обробку з ливарного цеху в закритих пристосуваннях, групування деталей проводиться за плавкою. Деталі не повинні містити залишків кераміки, масла. На кожні 100 лопаток необхідно передбачити по 3 зразка-свідка для проведення механічних випробувань після термообробки [2].

Процес виготовлення деталі повинен забезпечувати найменший рівень витрат на виробництво, та найвищий коефіцієнт використання металу. Наприклад [2], при виготовленні складних за конфігурацією деталей авіадвигуна є можливість використати деформовні або ливарні сплави. Заміна поковок та штамповок на відливки дозволяє в декілька разів підвищити

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коефіцієнт використання металу та зменшити кількість операцій у технологічному процесі виготовлення деталей.

1.5. Відновлення деталей лопаток після лиття та їхні дефекти

Підвищення якості застосовуваних матеріалів, здійснюється поліпшенням структурної однорідності і усуненням металургійних дефектів при застосуванні нових способів виплавки - вакуумної індукційної плавки, вакуумно-дугового переплаву та ін. Ці способи усувають кристалізаційні дефекти, очищають метал, знижують вміст газів, підвищують довговічність, термостійкість.

Однак, аналіз сучасного стан ливарного виробництва [8] показує, що при виготовленні соплових лопаток, тобто виробів точного лиття мають місце різного роду поверхневі дефекти, зовнішній вигляд яких показаний на рис.1.3.

Причиною утворення дефектів є, як організаційні, так і технологічні чинники:

- Неякісна підготовка шихтових матеріалів і ливарних форма;
- Недолив розплавленого металу в форми;
- Порушення технології вакуумного лиття.

Основними видами дефектів литих деталей є ливарні тріщини, усадочна рихлість, засори (керамічні), шлакові включення, полон і корольки, спаї, недоливи, отколи кутів, порушення форми [8]. Статистичний аналіз розташування дефектів у виливках показав рівномірний характер розташування дефектів по поверхні виливків. Оскільки велика частина обсягу і поверхні виливків припадає на полицю і хвостовик лопатки, то найбільш часто вироби бракуються за дефектами саме на цих, слабонавантажених в умовах експлуатації ділянках.

Аналіз дефектів за розмірами показав, що більше 50% виробів мали дефекти у вигляді засмічень до 3 мм і більше 75% шлакові включення до 5

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мм. Як вказується в роботі [3] більшість деталей може бути відновлене шляхом заповнення місць вибірки дефектів методом напайки або наплавлення. Недоцільним прийнято усунення дефектів поблизу критичних перерізів на робочих частинах лопаток, а також протяжних дефектів типу тріщин, розсіяною пористості і засмічених поверхонь. У цій же роботі показана необхідність ремонту лопаточного апарату ГТД після експлуатації, зокрема усунення механічних пошкоджень, ерозійного зносу та корозійних пошкоджень.

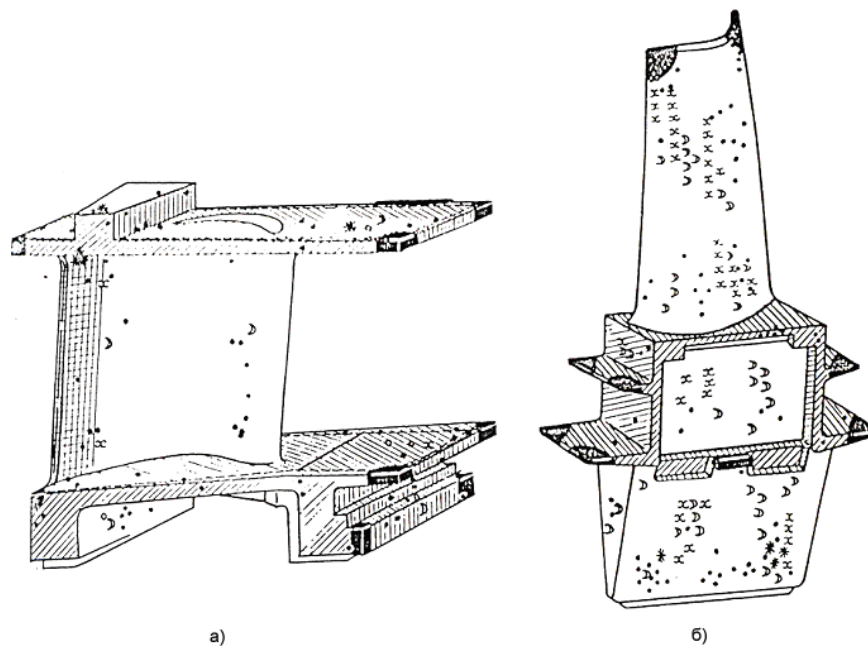


Рис. 1.3. Розташування характерних дефектів в направляючої лопатці першого ступеня (а) і в робочій лопатці першого ступеня (б)

* - Усадочна пористість, рихлоти; χ - спай; • - шамотна або керамічний засмічення; о - шлакові включення, корольок; Д - полону; ■ - пошкодження в результаті відколів моделі; //// - порушення форми і розмірів при механічній обробці.

Аналіз літературних джерел показав, що на сьогоднішній день розроблені матеріали і технології, які дозволяють виробляти виправлення дефектів лиття як із застосуванням загального, так і локального підігріву [8].

Так в роботі [8] розроблено технологічний процес виправлення дефектів лиття лопаток соплового апарату ГТД зі сплаву ЕП-539ЛМ. В якості

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

локального джерела нагріву застосовувався дугового розряд з порожнистим катодом у вакуумі. Проведений в роботі комплекс випробувань дозволив встановити, що результати короткочасною і тривалої міцності при застосуванні композиції 50% мас припою НС12 + 50% мас ЕП-539ЛМ і припою НС12 не гірше основного металу. Результати високотемпературної корозії при застосуванні тих же композиції і припою так само не гірше основного металу.

Розроблені матеріали і технологія виправлення дефектів лиття лопаток припоями НР24У, НР24МУ, НР18У і НР18МУ. Відзначається, що якщо в деталі є скупчення дефектів, то виправлення дефектів виконується пайкою у вакуумній печі за один цикл нагріву. Поодинокі дефекти доцільно виправляти на установці "Розряд-1". У цьому випадку дуга збуджується поза дефектної ділянки, після чого за допомогою механізму переміщення зварювального пальника її переміщують на дефектне місце. Для отримання якісного з'єднання необхідною умовою є попередній підігрів основного металу. Тому процес виправлення дефектів ведеться в два етапи. На першому етапі проводиться попередній локальний підігрів основного металу в районі дефекту до повного розплавлення припою без змочування виливки. На другому етапі після утворення краплі розплавленої композиції (твердорідкий стан композиції або рідкий стан припою без наповнювача) параметри розряду переводяться в режим пайки, і здійснюється безпосередньо виправлення дефектного місця [8].

Як видно з аналізу літератури, для виправлення дефектів лиття, а також для ремонту і відновлення зношених деталей ГТД доцільне застосування локального джерела нагріву. В основному це обумовлено більш високою технологічністю процесу і меншою енергоємністю.

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Однак застосування локального підігріву ускладняється тим, що жароміцні нікелеві сплави мають обмежену зварюваність через схильність до утворення тріщин при зварюванні плавленням і подальшій термообробці [8,9].

Жароміцні сплави на нікелевій основі володіють великою схильністю до розтріскування. Це пояснюється високою міцністю тіла зерна, обумовленої надлишковим легуванням сплаву, і локалізацією пластичної деформації [8].

Вказується на те, що гарячі тріщини є найбільш небезпечними дефектами при зварюванні жароміцних нікелевих сплавів. Залежно від температури утворення гарячих тріщин вони поділяються на кристалізаційні і подсолідусні.

Кристалізаційні тріщини утворюються в інтервалі температур, що перевищують температуру реального солідуса, і носять чітко виражений міжкристалічними характер. Кристалізаційні тріщини пов'язані з хімічною мікронеоднорідністю металу і утворюються під дією розтягуючих напружень, поява яких обумовлена нерівномірністю нагрівання при зварюванні. Поява тріщин залежить від величини ефективного інтервалу кристалізації і ливарної усадки металу. Чим більше цей інтервал, тим більше усадка і сприятливіші умови для виникнення тріщин. Утворення тріщини залежить також від запасу пластичності каркаса дендритів в місцях їх зрощення. Чим більше пластичність каркаса, тим менше ймовірність появи тріщин.

Зниження небезпеки утворення тріщин може бути досягнуто за рахунок зменшення розміру зерна основного металу шляхом проведення аустенізації при більш низьких температурах 1000-1030°C [8].

Результати проведених численних досліджень процесу тріщиноутворення дозволяють намітити наступні основні шляхи підвищення опору металів і їх однофазних сплавів подсолідусних гарячих тріщин при зварюванні: [10].

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Легування сплавів елементами, що знижують дифузійну рухливість атомів в решітці або сприяють створенню викривлених кордонів кристалітів і утворення в процесі кристалізації і наступного охолодження високотемпературних дисперсних фаз;

2. Підвищення чистоти основного металу по домішках впровадження;

3. Скорочення тривалості перебування металу при температурі високої дифузійної рухливості (збільшення швидкості охолодження металу зварних швів) і зниження темпу наростання і величини пружно-пластичних деформацій при охолодженні (обмеження деформацій за рахунок вибору раціональної конструкції з'єднань).

В роботі [13] вказується, що при виготовленні вузлів газотурбінних двигунів з метою зниження чутливості до утворення дефектів при зварюванні і забезпечення необхідних властивостей зварних з'єднань нікелевих сплавів, все частіше в якості супутньої технологічної операції застосовується високотемпературний підігрів. Досліджується його роль в утворенні тріщин, характер розподілу залишкових зварювальних напружень при зварюванні з підігрівом і при кімнатній температурі. Встановлено, що при аргонодугового наплавленні нікелевого сплаву максимальні розтягуючі напруження досягають межі текучості матеріалу. У разі застосування попереднього підігріву відбувається зниження розтягуючих поздовжніх залишкових напружень на 30%.

Таким чином, аналіз літературних даних показав, що застосування локального нагріву для виправлення дефектів лиття жароміцних сплавів пов'язане з небезпекою виникнення технологічних дефектів, зокрема тріщин. Для зниження ймовірності виникнення тріщин пропонуються металургійні методи, такі як підвищення чистоти основного металу, подрібнення структури металу, легування сплавів елементами, що знижують дифузійну рухливість атомів і ін.[13].

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В процесі експлуатації лопаток турбін відбувається знос торця пера, в зв'язку з цим падає коефіцієнт компресії. Існує технологія відновлення способом електродуговим наплавленням, сутність якого полягає у використанні теплоти для розплавлення присадочного матеріалу і з'єднання його з основним металом деталі [11].

Електродугове наплавлення найбільш поширене в ремонті машин серед способів нанесення покриттів. Цей спосіб в порівнянні з іншими способами створення ремонтних заготовок дає можливість отримувати шари з високою продуктивністю практично будь-якої товщини, різного хімічного складу і високими фізико-хімічними властивостями.

Ручне електродугове наплавлення виконується в основному електродами з товстим покриттям і в тих випадках, коли застосування механізованих способів неможливо або недоцільно.

Техніка і режими проведення процесу наплавлення повинні забезпечувати: мінімальне проплавлення основного металу і перемішування його з наплавленим; відсутність пір, тріщин, шлакових включень, мінімальну величину внутрішніх залишкових напружень і викривлення виробу; рівномірну висоту і рельєф наплавленого шару.

Переваги електродугового наплавлення [11]:

Дугове наплавлення покритими електродами відрізняється низькою вартістю обладнання, можливістю виконання наплавлення вручну, що забезпечує цьому способу найширше застосування для наплавлення не тільки чорних, але і кольорових металів.

1. Можливість наплавлення виробі складної форми;
2. Можливість вибору наплавочного матеріалу, найбільш придатного для конкретного призначення

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Незважаючи на всі переваги, існуюча технологія ремонту лопаток методом електродугового наплавлення не задовольняє сучасним техніко-економічним вимогам:

1. Великі припуски на подальшу механічну обробку (до 3 мм), збільшують собівартість ремонту.

2. Значні зони термічного впливу до 10 мм і довше вимагають подальшої термічної обробки.

3. У зоні електродугового наплавлення утворюється несприятлива з точки зору зносу лопатки грубозерниста структура.

Застосування електродугового наплавлення не задовольняє сучасним техніко-економічним вимогам, тому прийнято рішення модернізувати існуючу технологію за допомогою зміни способу наплавлення на імпульсне лазерне наплавлення. Імпульсне лазерне наплавлення характеризується мінімальними тепловкладенням в деталь, яка наплавляється, що відкриває можливість збереження геометричних розмірів у полі допуску, а також збільшує ресурс роботи деталей за рахунок підвищення якості наплавленого шару [11].

Технологія відновлення зношених лопаток турбін способом імпульсного лазерного наплавлення дозволяє в значній мірі усунути недоліки, властиві традиційними технологіями ремонту лопаток і отримати значний економічний ефект за рахунок зниження трудомісткості ремонту і підвищення ресурсу роботи лопаток.

Аналіз умов, в яких працюють лопатки зумовлює такі вимоги до матеріалу соплових лопаток турбін: [11]

1. Висока жароміцність, тобто збереження високих показників міцності при високій робочій температурі;

2. Висока пластичність, необхідна для рівномірного розподілу напружень по всій площі поперечного перерізу лопатки;

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Висока втомна міцність (витривалість);

4. Стабільність структури, що забезпечує незмінність механічних властивостей під час експлуатації турбін;

5. Висока опірність окислення

6. Висока опірність ерозії.

Лазерне наплавлення - процес, що ідеально підходить як для створення абсолютно нової поверхні, так і відновлення пошкоджених або зношених поверхонь.

При виборі лазерного наплавлення необхідно звертати увагу на те, що цей процес є дорогим (на даний момент розвитку лазерної техніки). Як наслідок, потенціал технології розвивається недостатньо швидко.

Імпульсне лазерне наплавлення пропонує нові можливості по відновленню зношених деталей. Дуже часто дані підходи є єдино можливими і економічно-ефективними.

Імпульсне лазерне наплавлення нових виробів може призвести до поліпшеним механічним характеристикам, таким як підвищена зносостійкість.

Деякі переваги, якими володіє технологія лазерного наплавлення перед іншими способами [12]:

1. Технологія лазерного наплавлення відрізняється найменшою енергоємністю і характеризується мінімальними значеннями питомої погонної енергії, що забезпечує мінімальну кількість тепловкладання в деталь яка наплавляється і дозволяє отримати мінімальні деформації після наплавлення.

2. Високий коефіцієнт зосередженості лазерного зварювального джерела енергії, дозволяє отримати мінімальні обсяги ванни розплаву присадочного матеріалу.

3. Швидкість охолодження наплавленого поверхневого шару досягає 103 - 104 град/см, що призводить до формування надзвичайно дрібнодисперсної структури, яка має підвищену зносостійкість.

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Лазер, в даний час є єдиним доступним зварювальним джерелом енергії.

Надійність і довговічність лопаток турбін є вирішальними факторами, від яких залежить ресурс роботи газоперекачувальних агрегатів. Застосування лазерного наплавлення дозволяє збільшити ресурс роботи наплавлених деталей на рівні нових і вище, що дозволяє значно знизити витрати на експлуатацію.

При виборі джерела енергії для відновлення і зміцнення деталей враховується технічна і технологічна можливість застосування даного джерела, економічна ефективність, а також надійність відновленої деталі або стійкість зміцненого інструменту [28].

Як впливає з таблиці 1.1, найбільшою концентрацією енергії в плямі нагріву має імпульсна електрична іскра.

Багаторазові спроби впровадження в ремонтне виробництво для відновлення і зміцнення деталей концентрованих джерел енергії з питомою потужністю в плямі нагріву понад 10^4 Вт/мм² закінчувалися невдало з різних причин. Головні з них - це неузгоджене дію фахівців за різними джерелами енергії і технологів, неправильний вибір об'єктів для обробки і незадовільна підготовка операторів.

Концентрація енергії термічних джерел може оцінюватися питомою потужністю в плямі нагріву. Найбільшу інтенсивність енергії - до 10 Вт/мм² і вище при плямі нагріву до 10^{-6} мм² - можуть мати лазерний і електронний промені.

Однак зварювання можливе тільки до щільності потужності $10^2 \dots 10^4$ Вт/мм², так як великі питомі потужності призводять до виплеску і випаровуванню матеріалу, корисного лише при різанні і розмірної обробці виробів. Питома потужність променя і енергетичні коефіцієнти наплавлення,

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розплавлення і інші придатні для оцінки тільки окремих видів джерел енергії або методів зварювання.

Таблиця 1.3. Енергетичні характеристики термічних джерел нагріву.

Джерело енергії	Температура полум'я або дуги, К	Найменша площа нагріву, мм ²	Найбільша щільність енергії в плямі, Вт/мм ²
Ацетилено – кисневе полум'я	3000...3500	1	$5 \cdot 10^2$
Дуга в парах: лужних металів заліза	4000...5000	1	$1 \cdot 10^3$
	5000...6000	1	$1 \cdot 10^3$
Дуга в газах: водень, азот аргон, гелій	5000...8000	$1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^3$
	10000...20000	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^3$
Мікроплазмова дуга	-	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^6$
Електронний промінь	-	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^7$
Лазерний промінь	-	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^8$
Електрична іскра в газовому середовищі	7000...20000	$1 \cdot 10^{-6}$	$10^6 \dots 10^9$

Відновлення і зміцнення деталей і інструментів електричної іскрою засноване на експериментально встановлений факт, що під впливом електричного імпульсного розряду в газовому середовищі, що протікає між електродам - анодом (електрод) і електродом-катодом (деталь, інструмент), відбувається їх руйнування і спрямований перенесення еродованих матеріалів на протилежні електроди.

Нагрівання плазмовою дугою.

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У дузі, обтиснень потоком газу, концентрація теплової енергії значно підвищується. Діапазон сили струму, при якому забезпечується стійке горіння дуги, досить широкий: від 0,1 ... 10 (мікроплазмова дуга) до 1000 ... 1500 А.

1.6. Комп'ютерне моделювання температурних полів

Засоби автоматизації інженерного аналізу, які засновані на чисельних методах, стали невід'ємною частиною процесу проектування виробу. Для успішного застосування кожен розрахунковий пакет повинен відповідати двом вимогам: втілювати найефективніші чисельні алгоритми та надавати користувачеві розвитий набір сервісних функцій по підготовці вихідних даних, обробці результатів розрахунку [15].

Далі наведемо можливості найбільш потужних розрахункових комплексів, що використовують метод скінчених елементів.

SYSWELD – програма для інженерних розрахунків процесів зварювання і термічної обробки (ESI Group - французька фірма, створена в 1973 році, є абсолютним лідером по створенню крізних САПР в автомобільній промисловості, включаючи програми віртуального тестування прототипів і моделювання технологічних процесів).

LS-DYNA (Livermore Software Technologies Corp.) – багатоцільова програма, яка використовує явне формулювання методу скінчених елементів (MCE), призначена для аналізу нелінійного динамічного відгуку тривимірних пружних структур. LS-DYNA була задумана як частина оборонної програми США й дотепер є нею.

ADAMS (Mechanical Dynamics, Inc.). На сьогоднішній день ADAMS знаходить застосування в автомобілебудуванні, авіабудуванні, космонавтиці, залізничному транспорті, загальному машинобудуванні, суднобудуванні, робототехніці, приладобудуванні, біомеханіці й навіть в індустрії відпочинку й розваг.[15]

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ProCAST(UES, CALCOM). Відповідно до досліджень, які провели експерти NASA, ProCAST визнана найбільш потужною та коректною програмою для розрахунку ливарних процесів. ProCAST дозволяє інженерів-проектувальників розраховувати та візуалізувати у тривимірній постановці процес руху й затвердження металу у формі, передбачати мікроструктуру, виникнення раковин, пористості, мінімізувати залишкові напруження, контролювати тепловий баланс системи «виливка-форма» тощо. За результатами розрахунку можуть бути отримані оптимальні розташування газоотводу, холодильника, ливарних каналів.

Pro/Engineer. Pro/MESH, Pro/FEM-POST й Pro/SURFACE - модулі Pro/Engineer для розрахунку на міцність методом скінчених елементів.

Програмний комплекс ANSYS (ANSYS, Inc.). ANSYS уже більше 25 років входить до числа важких скінчено-елементних розрахункових комплексів. ANSYS починався як система для внутрішнього використання фірми Westinghouse Electric, ANSYS проникнув зі своєї «материнської» області, ядерної енергетики, в усі області промисловості, отримав довіру багатьох тисяч користувачів по всьому світі. Такий успіх досягнутий на підставі наступних найважливіших відмінних рис:

- 1) ANSYS - єдина скінчено-елементна система з таким повним охопленням явищ різної фізичної природи: міцність, теплофізика, гідрогазодинаміка й електромагнетизм із можливістю рішення зв'язаних завдань, що поєднують всі перераховані види;
- 2) найширша інтеграція й двосторонній обмін даними з усіма CAD / CAE / CAM - системами;
- 3) відкритість (тобто модифікуємість і доповненість);
- 4) найвищий показник «ефективність/вартість»;
- 5) серед безлічі скінчено-елементних програмних комплексів ANSYS – перший й єдиний з розроблених і сертифікованих відповідно до

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

міжнародних стандартів ISO 9000 й ISO 9001;

б) ANSYS надає унікальну по повноті й саму велику по змісту сучасну систему *help* на основі гіпертекстового подання, доступ до якої здійснюється в інтерактивному режимі *online*.

Препроцесор ANSYS дозволяє не тільки створювати геометричні моделі власними засобами, але імпортувати вже готовими, створеними засобами CAD-систем. Треба відзначити, що геометрична модель надалі може бути модифікована будь-яким образом, оскільки при імпорті здійснюється перетрансляція даних у геометричний формат ANSYS, і деталь не підмінюється «недоторканою» скінчено-елементною сіткою. Користувач може видаляти несуттєві дрібні подробиці, добудовувати певні деталі, проводити згущення сітки й інших найважливіших операцій, без яких подальше рішення може бути зовсім некоректно або взагалі виявиться недосяжним [16].

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки і завдання дипломного проекту

Виготовлення деталей ГТД з жароміцних ливарних сплавів можливо тільки єдиним прийнятним способом - точним литтям. Основними видами литих деталей є гарячі тріщини. Головними характеристиками жароміцності сплавів є тривала міцність і пластичність, опір повзучості.

Розміри зварного шва, структури зони термічного впливу (ЗТВ) зварної конструкції значною мірою визначається тепловими процесами, зокрема характером температурних полів. Існуючі методики розрахунку температурних полів, не дозволяють з точністю описати розподіл температур у зварному з'єднанні з урахуванням впливу кінцевих ділянок шва.

Застосування комп'ютерного моделювання на основі методу скінчених елементів (МСЕ), який широко застосовується у всьому світі, дозволяє суттєво підвищити точність розрахунків температурних полів, також дозволяє з достатнім ступенем вивчати і моделювати процеси протікають при виправленні дефектів лиття за допомогою зварювання і наплавлення із застосуванням локального джерела нагріву. Тому, розробка методики комп'ютерного моделювання температурних полів з використанням МСЕ є актуальною задачею для науково – дослідних установ.

Метою даного проекту є дослідження методом комп'ютерного моделювання температурних полів при відновленні жароміцного нікелевого сплаву з застосуванням МСЕ. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Розробка математичної моделі для комп'ютерного моделювання температурних полів.
2. Обґрунтувати вибір граничних умов та побудувати комп'ютерну модель.
3. Виконати моделювання температурних полів при дії різних діаметрів плями нагріву.
4. Проаналізувати результати моделювання температурних полів при локальному дії нагріву.
5. Зробити висновки.

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Аналіз літератури відносно особливостей лопаток соплового апарату ГТД, відновлення їх після лиття та методів комп'ютерного моделювання температурних полів при наплавленні

1.1. Умови експлуатації лопаток соплового апарату ГТД

Однією з найважливіших завдань вдосконалення ГТД є підвищення їх надійності, ККД і ресурсу.

В експлуатації крім силових факторів, що визначаються конфігурацією лопаток і дією зовнішніх сил (статичних, газодинамічних та вібраційних), на лопатки діє ряд інших факторів, пов'язаних з особливостями впливу середовища, в якому експлуатується двигун: попадання сторонніх предметів, корозія, зміна температури, ерозія, знос, фретінг-корозія і т. д.

Силові фактори, за винятком вібраційних і в якійсь мірі, циклічних, досить точно прогнозуються і враховуються на стадії проектування; решта чинників складно передбачувані. В цілому розрахункові методи не дають можливості з достатньою достовірністю оцінити працездатність лопаток компресора, яка в основному перевіряється в процесі доведення шляхом широких досліджень напруженості [1].

Найбільшою мірою на працездатність лопаток впливає :

а) "звичайна" втома (змінні напруження, пов'язані з вібраціями, перевершують втомну міцність матеріалу);

б) зниження втомної міцності;

в) пошкодження (порушення форми);

г) ерозія дрібними частками (пісок);

д) корозія

Ресурс двигуна визначається тривалістю надійної роботи самого ослабленого вузла або деталі. У найбільш важких умовах працюють вузли і деталі, що входять в високотемпературний тракт. До числа найбільш

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навантажених вузлів відносяться соплові апарати ГТД. Профільна і замкові частини лопатки відчують напруження, внаслідок розтягування і вигину від вібраційних навантажень, а також термічні напруження, обумовлені теплосменами - швидкий нагрів у момент запуску і швидке охолодження в момент зупинки двигуна.

Умови роботи соплових апаратів змушують пред'являти до матеріалів деталей з яких вони виготовляються, ряд специфічних вимог:

- Висока жароміцність;
- Пластичність, необхідна для рівномірного розподілу напружень по всьому перетину;
- Висока втомна міцність;
- Стабільність структури, що забезпечує незмінність механічних властивості під час експлуатації;
- Хімічна інертність до продуктів згоряння палива;
- Стійкість до газової корозії та ерозії при високих температурах;
- Технологічність у процесі лиття, а також при механічній обробці.

Для вузлів гарячого тракту ГТД застосовуються жароміцні і жаростійкі сплави на основі нікелю, леговані хромом, вольфрамом, молібденом, титаном, бором та ін. елементами. Жароміцні властивості сплаву в дуже сильному ступені залежать від його структурного стану, величини зерна[2].

1.2. Вибір матеріалів в залежності від умов експлуатації

Вибір матеріалів при виготовленні деталей ГТУ, що працюють при підвищених температурах, передбачає необхідність враховувати специфіку їх напруженого стану та особливостей експлуатації турбін різного призначення. Наприклад, ресурс ракет та їх силових установок складає близько однієї години; двигунів літаків-винищувачів –100 год.; літаків цивільної авіації – 1000 год.; газових турбін для локомотивів та суден – 10000 год.; газових

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

турбін для стаціонарних силових установок – 30000 год.; парових турбін для стаціонарних силових установок – 100000 год.[1,3].

Основними параметрами, що впливають на вибір матеріалу деталей гарячого тракту ГТУ, є наступні:

- ✓ робоча температура деталі;
- ✓ ступінь нерівномірності температури за перерізом деталі;
- ✓ вид та склад палива;
- ✓ ступінь установки.

Температура газу на вході до турбіни впливає на ефективність газової турбіни, із збільшенням цього показника підвищується рівень коефіцієнта корисної дії двигуна. Призначення турбіни визначає необхідний рівень температури на вході до турбіни. Для стаціонарних турбін ця температура не перевищує 960–1060°C, для для пікових турбін – 1065–1100°C, у випадку авіаційних турбін – 1300°C [3].

1.3. Склад, структура та властивості жароміцних нікелевих сплавів

Нікелеві жароміцні сплави мають складне легування, вміст елементів коливається в межах (% мас.): 0,06 ... 0,20 С, 0,3 ... 1,0 Мп, 0,3..1,0 Si , 8,0 ... 22 Cr, 0 ... 20 Со, 0 ... 10 Мо, 0 ... 11 W, 0 ... 4,0 Ti, 0. ..6 Al, до 5 Fe, невеликі концентрації ніобію, цирконію, гафнію, церію, бору. Сумарний вміст алюмінію та титану зазвичай не перевищує 8.0%, а в деяких сплавах їх замінюють ніобієм і танталом [5]. Останнім часом у ряді країн в найбільш жароміцні сплави вводять цирконій і гафній [5]. Легування гафнієм застосовується також у вітчизняному сплаві ЧС-88, призначеному для виготовлення суднових газотурбінних двигунів та газоперекачувальних установок.

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Жароміцні сплави мають складне легування, однак по спільності дії легуючих елементів їх можна об'єднати в окремі класи. Таке об'єднання елементів добре проілюстровано в роботі [4]. Декер Р.Ф. і Сімс Ч.Т. виділяють 3 основних класу елементів.

Перший клас включає елементи, що утворюють аустенітну матрицю з графентрованою кристалічної (г.ц.к.) ґратами: нікель, кобальт, залізо, хром, молібден, вольфрам, ванадій. Другий клас включає елементи, що сприяють утворенню γ' - фази: алюміній, титан, ніобій, тантал. Третій клас включає магній, бор, вуглець і цирконій, які мають велике розходження з нікелем в атомних діаметрах по межах зерен [4].

Крім трьох головних класів виділяються два підкласу. У перший підклас включаються карбідотворюючі елементи: хром, молібден, вольфрам, ванадій, ніобій, тантал і титан. До другого належать хром і алюміній, що утворюють щільні оксидні захисні плівки.

Мікроструктура нікелевих сплавів являє собою матрицю з г.ц.к. ґратами, що містить карбіди і когерентну інтерметалідним γ' -фазу. Зміцнення досягається за рахунок легування матриці молібденом, вольфрамом і хромом і за рахунок легування алюмінієм, титаном, ніобієм і танталом, що утворюють з нікелем γ' - фазу $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$ з частковим заміщенням алюмінію та титану іншими елементами (дисперсійне зміцнення). Хром, молібден, вольфрам і тантал утворюють карбіди, зміцнюючи кордону зерен. Алюміній і хром забезпечують стійкість до окислення, хром і титан підвищують стійкість до газової корозії, однак збільшення концентрації хрому знижує температуру розчинення γ' - фази і максимальну робочу температуру сплаву.

Легування кобальтом підвищує температуру розчинення γ' - фази, покращуючи цим жароміцність сплаву.

Алюміній і титан є основними елементами, що утворюють зміцнюючу γ' -фазу. При підвищенні їх вмісту в сплаві зростає кількість γ' -фази. У ряді

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сплавів титан відсутня. У цьому випадку підвищення кількості алюмінію до 5-6% забезпечує утворення необхідної кількості γ' -фази [5]. Обмеження верхньої межі вмісту цих елементів обумовлено зниженням температури солідусу сплавів і утворенням небажаної фази, що приводить до зниження жароміцності.

У багатьох жароміцних сплавах вводяться мікродобавки бору, ніобію, церію, барію, ванадію. Бор, виділяючись при старінні сплаву у вигляді боридних фаз переважно по межах зерен, гальмує дифузійні процеси і підвищує жароміцність. Мікролегування цезієм підвищує жароміцність сплавів за рахунок зв'язування легкоплавких домішок (S, Pb, Sb та ін.) В тугоплавкі сполуки. Невеликі добавки Zr безпосередньо беруть участь в утворенні γ' -фази, замінюючи в ній частина Ti, і кілька підвищують жароміцність. Барій в кількостях 0,05-0,1% також підвищують жароміцність сплавів. Введення до 1-4,5% ванадію не надає вплив на тривалу міцність, а при більш високому вмісті, погіршує її. Однак невеликі присадки ванадію (0,3-0,5%) застосовуються як засіб поліпшення деформованості сплавів.

Зміст вуглецю в сплавах зводять до мінімуму, так як його підвищений вміст несприятливо позначається на жаростійкості і повинно компенсуватися збільшенням вмісту хрому. Крім того, вуглець знижує схильність до старіння і температуру старіння дисперсійно-твердіючих нікелевих сплавів.

Марганець і кремній є постійними елементами, відсутніми у складі жароміцних сплавів. Навіть невеликі добавки (1,0%) цих елементів погіршують жароміцність. У той же час введення кремнію (до 2%) сприяє підвищенню їх окалинотійкості.

Аналіз фазового складу більшості розглянутих сплавів на нікелевій основі показує, що їх основою є твердий розчин хрому в нікелі (γ' -фаза), легований кобальтом, молібденом і вольфрамом. Крім того, сплави можуть містити від 30 до 60% γ' -фази і близько 2-2,5% карбідів і боридів [5].

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Карбідні фази. У жароміцних сплавах на нікелевій основі утворюються наступні типи карбідів: MC , M_2C , M_3C , M_6C , $M_{12}C$ [3].

Сплави на нікелевій основі, леговані бором (зазвичай в межах 0,002-0,06%), містять бори́ди, що спостерігаються в основному по межах зерен. Найчастіше зустрічаються бори́ди M_3B_2 . До складу боридів можуть входити Mo , Ti , W , Cr , Ni .

В даному дипломному проєкті використовується сплав ЧС - 88.

Характеристика сплаву ЧС - 88

Марка: Сплав ХН57КВЮТМБРЛ (ЧС88У; ХН57КВЮТМБЛ (ЧС88))

Класифікація: Сплав жароміцний на нікелевої основі

Можливі позначення в літературі Сплав ХН57КВЮТМБРЛ;
ХН57КВЮТМБРЛ; ХН57КВЮТМБРЛ-ВІ; ХН57КВЮТМБЛ;
ХН57КВЮТМБЛ-ВІ; ЧС88; ЧС88-ВІ

Призначення: Сплав ХН57КВЮТМБРЛ застосовується: для виробництва литих прутків вакуумно-індукційного переплаву, призначених для виготовлення деталей енергетичного машинобудування, що працює при температурах до 1150 °С.

Примітка: Жароміцний сплав на нікелевій основі з гафнію

Таблиця 1.1. Хімічний склад в % сплаву ЧС – 88

Co	Cr	W	Mo	Nb	Al	Ti	C	Hf	B	Zr
11,7	15,8	5,3	1,96	0,15	3	4,6	0,07	0,3	0,09	0,03

Основою багатьох жаростійких нікелевих сплавів є система $Ni-Cr$ (рис. 1.1). При кімнатній температурі розчинність хрому в нікелі складає приблизно 30%. Легування хромом підвищує стійкість проти окислення при високих температурах. Мінімальна кількість хрому що забезпечує захист від корозії – (20–25)%. Висока жаростійкість у сплавах системи зумовлена утворенням під зовнішнім тонким шаром окислу NiO прошарку Cr_2O_3 , що має низьку швидкість росту та шпінелі $NiCr_2O_4$ [6].

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

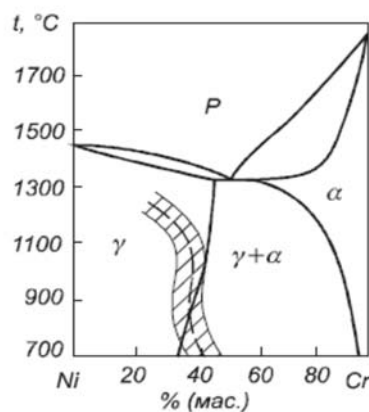


Рис 1.1 – Діаграма стану Ni–Cr (І.І.Корнілов).
Заштриховано область сплавів з максимальним опором
повзучості при різних температурах

Сплави на основі системи Ni–Cr мають незадовільний рівень жароміцності, додаткове легування алюмінієм (Al) призвело до утворення γ' - фази (твердого розчину на основі інтерметаліду Ni_3Al з ГЦК ґраткою). Параметри твердого розчину на основі нікелю та γ' – фази близькі ($a_\gamma \approx a_{\gamma'}$), між ґратками існує когерентний тип зв'язку. [6]. Відповідно до діаграми стану системи Al–Ni (рис. 1.2) розчинність алюмінію в нікелі; знижується з 11% (мас.) при 1385°C до 6% при 750°C.

Нікель є основою найбільш поширених на сучасному етапі жароміцних сплавів для деталей ГТУ. Передумовами широкого використання цих сплавів є висока температура плавлення та щільне пакування ґратки нікелю. В ГЦК ґратці дифузійна рухомість атомів менша за ОЦК [7].

Жароміцні сплави на основі нікелю поділяють за способом виготовлення деталей на три групи: деформовані, ливарні, отримані методом порошкової металургії.

Нікелеві сплави маркують умовними позначеннями, що не мають зв'язку з хімічним складом (наприклад, ЭИ437Б, ЭП742, ВЖЛ-12У, ЧС-70ВИ, ЖС6У), або використовують систему позначень подібну до сталей. В останньому випадку марка сплаву складається з букв, що позначають

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

елементи, що входять до його складу: Н – нікель, Х – хром, Т – титан, Ю – алюміній, Р – бор, В – вольфрам, М – молібден, Б – ніобій, К – кобальт. Позначення сплаву починають з букви „Х”, потім вказується буква „Н” та цифра, що відповідає середньому вмісту нікелю, потім – букви, що вказують на присутність інших елементів. Послідовність букв залежить від вмісту елементів. Наприклад, сплав ХН70МВТЮБ містить 70%Ni, 5%Mo, 3%W, 2,4%Ti, 1,3%Al, 0,9%Nb, решта – 17%Cr. [5]. Хімічний склад деяких жароміцних сплавів на основі нікелю наведено в табл. 1.2.

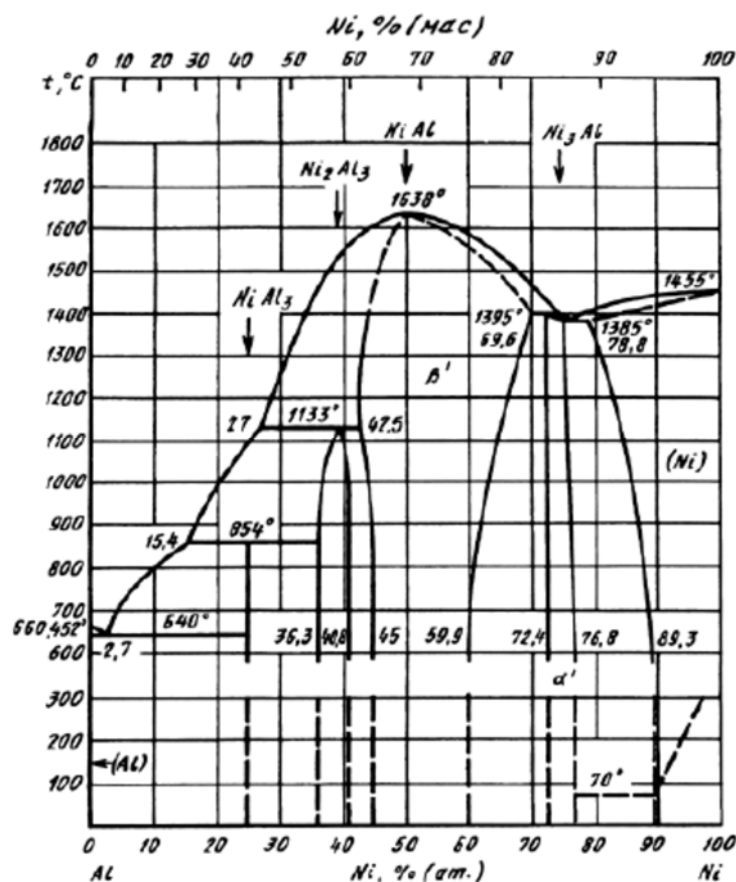


Рис.1.2 – Діаграма стану системи Al-Ni

Рівень жароміцності, технологічність, експлуатаційні властивості жароміцних сплавів значною мірою визначаються технологією виробництва. Суттєве значення мають метод плавлення та кристалізації, технологія гарячої обробки тиском, умови механічної обробки. Нікелеві сплави плавлять у відкритих індукційних або дугових печах, методом вакуумного індукційного

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

плавлення з подальшим переплавленням металу в вакуумно-дугових печах. При необхідності високої чистоти плавлення проводять електронно-променевим способом. Для виготовлення якісних матеріалів використовують чисті шихтові суміші, вміст шкідливих домішок (свинець, сурма, вісмут, кадмій та ін.) не перевищує в них 10–3–10–4% (за масою) [6].

Таблиця 1.2 – Хімічний склад жароміцних сплавів на основі нікелю

Марка за ГОСТом	Умовне позначення сплаву	Вміст елементів, %								
		C	Cr	Co	Ti	Al	W	Mo	B	інші
Деформовні сплави										
ХН77ТЮР	ЭИ437Б	0,07	19-22	-	2,4-2,8	0,6-1,0	-	-	≤ 0,01	-
ХН70ВМТЮ	ЭИ617	0,12	13-16	-	1,8-2,3	1,7-2,3	5-7	2-4	≤ 0,02	0,1-0,5V
ХН70ВМТЮФ	ЭИ826	0,12	13-16	-	1,7-2,2	2,4-2,9	5-7	2,5-4,0	≤ 0,01	0,2-1,0V
ХН55ВМТФКЮ	ЭИ929	0,12	9-12	12-16	1,4-2,0	3,6-4,5	4,5-6,5	4-6	≤ 0,02	0,2-0,8V
ХН73МБТЮ	ЭИ698	0,08	13-16	-	2,3-5-2,7-5	1,3-1,7	-	2,8-3,2	-	1,8-2,2V
ХН62ВМКЮ	ЭИ867	0,10	8,5-10,5	4-6	-	4,2-4,9	4,3-6,0	9-11,5	≤ 0,02	
Ливарні сплави										
	ЭП539ЛМ	0,08-0,15	17,0-18,5	4,0-6,0	2-3	3-4	2,5-4,0	4,5-6,5	0,02-0,04	0,02Ce, 1,2-1,8Nb, ≤1Fe
	ЖС6К	0,13-0,2	9,5-12,0	4,0-5,0	2,5-3,2	5-6	4,5-5,5	3,5-4,8	0,02	0,015Ce
	ЖС3	0,11-0,16	14-18	-	1,6-2,3	1,6-2,2	4,5-6,5	3-4,5	-	-
	ЗМН 3	≤0,1	12,5-14,0	5,0-6,0	4,5-5,5	2,8-3,2	4-6	1,5-2,5	0,01-0,05	0,02-0,05Ce, 0,05-0,1Nb, 0,005-0,01Zr
	ЧС70ВН	0,06-0,12	15,0-16,7	9,5-12,5	4,2-5,0	2,4-3,2	4,5-6,0	1,5-2,5	0,02	0,1-0,25Nb, 0,05Zr
	ЧС104ВН	0,07-0,15	18,0-19,0	8,0-12,0	3,8-4,2	1,8-2,3	4-6,0	1,5-2,0	0,005-0,02	0,2-0,8Nb, 0,005-0,02Zr

1.4. Технологія виготовлення деталей ГТУ

При виготовленні деталей ГТУ є можливим використання різних матеріалів та технологій. Досить широко використовується деформація (штампування, кування), заготовки отримують литтям або з сортового прокату. У виготовленні деталей може бути передбачено операції зварювання,

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

різання. Деякі деталі отримують литтям, одним з варіантів є прецизійне лиття (використовується для відповідальних деталей, наприклад, лопаток турбіни).

Прецизійне лиття. Прецизійне лиття передбачає виготовлення деталей високого класу точності з якісною поверхнею, надає можливість отримувати вироби складної форми з отворами та каналами. Модель виготовляється з воску, пресується у металевих штампах. Для отримання внутрішніх отворів використовують стрижні, що виготовляють з окису кремнію або іншої кераміки. Декілька моделей збирають у блоки вздовж спільного літника [8]. Восковий блок занурюють у суспензію, що складається з дисперсного порошку вогнетривкої кераміки у рідині. Після цього на вологу модель наносять керамічний матеріал з більшим розміром частинок. після сушки утворюється прошарок кераміки на поверхні моделі. Процес повторюють кілька разів, після чого модель видаляють з оболонки. Процес видалення не передбачає руйнування оболонки та стрижнів, якщо вони є в конструкції деталі. Форму після прогрівання заповнюють рідким металом, найчастіше в вакуумній індукційній печі. Форма середнього розміру вміщує 5-10 кг металу, дозволяє отримувати від 1 до 50 деталей. Для виготовлення, наприклад, суцільнолитих роторів для стаціонарних енергетичних установок необхідні відливки масою 40 кг та більше. Цикл заливки форми у випадку лопатки турбіни складає 5-12 хв., підігрів форми при 870-1090°C триває 2-4 год.[1, 2].

При литті жароміцних сплавів брак може складати від 5 до 80%. Вихід якісних деталей залежить від матеріалу та складності відливок. Наприклад, при литті лопаток складної форми з довгими вузькими каналами та тонкими стінками вихід якісних деталей може складати 20%. Основною причиною браку в цьому випадку, є руйнування та деформація стрижнів. Окрім пошкодження стрижнів у відливках можуть бути такі дефекти як невідповідний вимогам розмір зерна, внутрішня усадка, неметалеві включення. Для контролю дефектів литих деталей турбін застосовують

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

флуоресцентний метод з використанням проникаючого барвника, радіографічні методи. Контроль дозволяє виявляти дефекти, розміри яких складають 1% від товщини деталі, наприклад дефекти діаметром 0,012 мм в деталі з товщиною 1,2 мм [2].

Механічна обробка литих лопаток передбачає глибинне шліфування хвостовиків та бандажних полиць. За цією технологією за один, два проходи знімається повний припуск на обробку, величина цього припуску знаходиться в діапазоні від десятих до десятків міліметрів. Порівняно із традиційною багатостадійною механічною обробкою глибинне шліфування зменшує кількість операцій різання, скорочує час обробки, підвищується точність обробки та зменшується шорсткість $R_a=0,8\ldots1,2$ мкм. При глибинному шліфуванні підвищується границя витривалості на 4-7% (за рахунок створення сприятливих напружень стискання в тонкому поверхневому шарі). За необхідності додаткової стабілізації та підвищення витривалості хвостових частин лопаток турбін, після шліфування виконують стабілізуючу термічну обробку з подальшим поверхневим зміцненням [2].

Технологічний процес термообробки (гартування) лопаток ГТУ.

Деталі та зразки надходять на термічну обробку з ливарного цеху в закритих пристосуваннях, групування деталей проводиться за плавкою. Деталі не повинні містити залишків кераміки, масла. На кожні 100 лопаток необхідно передбачити по 3 зразка-свідка для проведення механічних випробувань після термообробки [2].

Процес виготовлення деталі повинен забезпечувати найменший рівень витрат на виробництво, та найвищий коефіцієнт використання металу. Наприклад [2], при виготовленні складних за конфігурацією деталей авіадвигуна є можливість використати деформовні або ливарні сплави. Заміна поковок та штамповок на відливки дозволяє в декілька разів підвищити

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коефіцієнт використання металу та зменшити кількість операцій у технологічному процесі виготовлення деталей.

1.5. Відновлення деталей лопаток після лиття та їхні дефекти

Підвищення якості застосовуваних матеріалів, здійснюється поліпшенням структурної однорідності і усуненням металургійних дефектів при застосуванні нових способів виплавки - вакуумної індукційної плавки, вакуумно-дугового переплаву та ін. Ці способи усувають кристалізаційні дефекти, очищають метал, знижують вміст газів, підвищують довговічність, термостійкість.

Однак, аналіз сучасного стан ливарного виробництва [8] показує, що при виготовленні соплових лопаток, тобто виробів точного лиття мають місце різного роду поверхневі дефекти, зовнішній вигляд яких показаний на рис.1.3.

Причиною утворення дефектів є, як організаційні, так і технологічні чинники:

- Неякісна підготовка шихтових матеріалів і ливарних форма;
- Недолив розплавленого металу в форми;
- Порушення технології вакуумного лиття.

Основними видами дефектів литих деталей є ливарні тріщини, усадочна рихлість, засори (керамічні), шлакові включення, полон і корольки, спаї, недоливи, отколи кутів, порушення форми [8]. Статистичний аналіз розташування дефектів у виливках показав рівномірний характер розташування дефектів по поверхні виливків. Оскільки велика частина обсягу і поверхні виливків припадає на полицю і хвостовик лопатки, то найбільш часто вироби бракуються за дефектами саме на цих, слабонавантажених в умовах експлуатації ділянках.

Аналіз дефектів за розмірами показав, що більше 50% виробів мали дефекти у вигляді засмічень до 3 мм і більше 75% шлакові включення до 5

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мм. Як вказується в роботі [3] більшість деталей може бути відновлене шляхом заповнення місць вибірки дефектів методом напайки або наплавлення. Недоцільним прийнято усунення дефектів поблизу критичних перерізів на робочих частинах лопаток, а також протяжних дефектів типу тріщин, розсіяною пористості і засмічених поверхонь. У цій же роботі показана необхідність ремонту лопаточного апарату ГТД після експлуатації, зокрема усунення механічних пошкоджень, ерозійного зносу та корозійних пошкоджень.

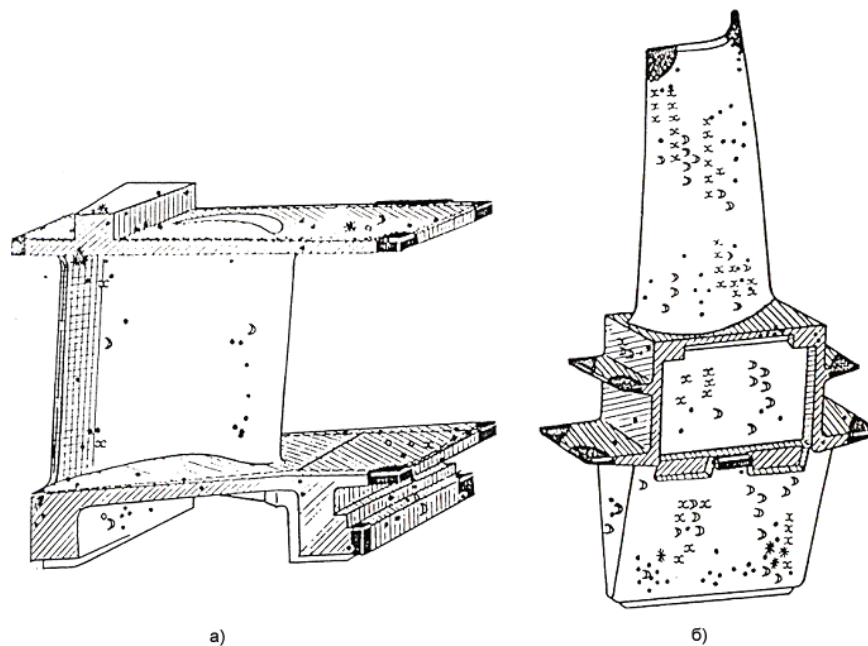


Рис. 1.3. Розташування характерних дефектів в направляючій лопатці першого ступеня (а) і в робочій лопатці першого ступеня (б)

* - Усадочна пористість, рихлоти; χ - спай; • - шамотна або керамічний засмічення; о - шлакові включення, корольок; Д - полону; ■ - пошкодження в результаті відколів моделі; //// - порушення форми і розмірів при механічній обробці.

Аналіз літературних джерел показав, що на сьогоднішній день розроблені матеріали і технології, які дозволяють виробляти виправлення дефектів лиття як із застосуванням загального, так і локального підігріву [8].

Так в роботі [8] розроблено технологічний процес виправлення дефектів лиття лопаток соплового апарату ГТД зі сплаву ЕП-539ЛМ. В якості

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

локального джерела нагріву застосовувався дугового розряд з порожнистим катодом у вакуумі. Проведений в роботі комплекс випробувань дозволив встановити, що результати короткочасною і тривалої міцності при застосуванні композиції 50% мас припою НС12 + 50% мас ЕП-539ЛМ і припою НС12 не гірше основного металу. Результати високотемпературної корозії при застосуванні тих же композиції і припою так само не гірше основного металу.

Розроблені матеріали і технологія виправлення дефектів лиття лопаток припоями НР24У, НР24МУ, НР18У і НР18МУ. Відзначається, що якщо в деталі є скупчення дефектів, то виправлення дефектів виконується пайкою у вакуумній печі за один цикл нагріву. Поодинокі дефекти доцільно виправляти на установці "Розряд-1". У цьому випадку дуга збуджується поза дефектної ділянки, після чого за допомогою механізму переміщення зварювального пальника її переміщують на дефектне місце. Для отримання якісного з'єднання необхідною умовою є попередній підігрів основного металу. Тому процес виправлення дефектів ведеться в два етапи. На першому етапі проводиться попередній локальний підігрів основного металу в районі дефекту до повного розплавлення припою без змочування виливки. На другому етапі після утворення краплі розплавленої композиції (твердорідкий стан композиції або рідкий стан припою без наповнювача) параметри розряду переводяться в режим пайки, і здійснюється безпосередньо виправлення дефектного місця [8].

Як видно з аналізу літератури, для виправлення дефектів лиття, а також для ремонту і відновлення зношених деталей ГТД доцільне застосування локального джерела нагріву. В основному це обумовлено більш високою технологічністю процесу і меншою енергоємністю.

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Однак застосування локального підігріву ускладняється тим, що жароміцні нікелеві сплави мають обмежену зварюваність через схильність до утворення тріщин при зварюванні плавленням і подальшій термообробці [8,9].

Жароміцні сплави на нікелевій основі володіють великою схильністю до розтріскування. Це пояснюється високою міцністю тіла зерна, обумовленої надлишковим легуванням сплаву, і локалізацією пластичної деформації [8].

Вказується на те, що гарячі тріщини є найбільш небезпечними дефектами при зварюванні жароміцних нікелевих сплавів. Залежно від температури утворення гарячих тріщин вони поділяються на кристалізаційні і подсолідусні.

Кристалізаційні тріщини утворюються в інтервалі температур, що перевищують температуру реального солідуса, і носять чітко виражений міжкристалічними характер. Кристалізаційні тріщини пов'язані з хімічною мікронеоднорідністю металу і утворюються під дією розтягуючих напружень, поява яких обумовлена нерівномірністю нагрівання при зварюванні. Поява тріщин залежить від величини ефективного інтервалу кристалізації і ливарної усадки металу. Чим більше цей інтервал, тим більше усадка і сприятливіші умови для виникнення тріщин. Утворення тріщини залежить також від запасу пластичності каркаса дендритів в місцях їх зрощення. Чим більше пластичність каркаса, тим менше ймовірність появи тріщин.

Зниження небезпеки утворення тріщин може бути досягнуто за рахунок зменшення розміру зерна основного металу шляхом проведення аустенізації при більш низьких температурах 1000-1030°C [8].

Результати проведених численних досліджень процесу тріщиноутворення дозволяють намітити наступні основні шляхи підвищення опору металів і їх однофазних сплавів подсолідусних гарячих тріщин при зварюванні: [10].

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Легування сплавів елементами, що знижують дифузійну рухливість атомів в решітці або сприяють створенню викривлених кордонів кристалітів і утворення в процесі кристалізації і наступного охолодження високотемпературних дисперсних фаз;

2. Підвищення чистоти основного металу по домішках впровадження;

3. Скорочення тривалості перебування металу при температурі високої дифузійної рухливості (збільшення швидкості охолодження металу зварних швів) і зниження темпу наростання і величини пружно-пластичних деформацій при охолодженні (обмеження деформацій за рахунок вибору раціональної конструкції з'єднань).

В роботі [13] вказується, що при виготовленні вузлів газотурбінних двигунів з метою зниження чутливості до утворення дефектів при зварюванні і забезпечення необхідних властивостей зварних з'єднань нікелевих сплавів, все частіше в якості супутньої технологічної операції застосовується високотемпературний підігрів. Досліджується його роль в утворенні тріщин, характер розподілу залишкових зварювальних напружень при зварюванні з підігрівом і при кімнатній температурі. Встановлено, що при аргонодугового наплавленні нікелевого сплаву максимальні розтягуючі напруження досягають межі текучості матеріалу. У разі застосування попереднього підігріву відбувається зниження розтягуючих поздовжніх залишкових напружень на 30%.

Таким чином, аналіз літературних даних показав, що застосування локального нагріву для виправлення дефектів лиття жароміцних сплавів пов'язане з небезпекою виникнення технологічних дефектів, зокрема тріщин. Для зниження ймовірності виникнення тріщин пропонуються металургійні методи, такі як підвищення чистоти основного металу, подрібнення структури металу, легування сплавів елементами, що знижують дифузійну рухливість атомів і ін.[13].

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В процесі експлуатації лопаток турбін відбувається знос торця пера, в зв'язку з цим падає коефіцієнт компресії. Існує технологія відновлення способом електродуговим наплавленням, сутність якого полягає у використанні теплоти для розплавлення присадочного матеріалу і з'єднання його з основним металом деталі [11].

Електродугове наплавлення найбільш поширене в ремонті машин серед способів нанесення покриттів. Цей спосіб в порівнянні з іншими способами створення ремонтних заготовок дає можливість отримувати шари з високою продуктивністю практично будь-якої товщини, різного хімічного складу і високими фізико-хімічними властивостями.

Ручне електродугове наплавлення виконується в основному електродами з товстим покриттям і в тих випадках, коли застосування механізованих способів неможливо або недоцільно.

Техніка і режими проведення процесу наплавлення повинні забезпечувати: мінімальне проплавлення основного металу і перемішування його з наплавленим; відсутність пір, тріщин, шлакових включень, мінімальну величину внутрішніх залишкових напружень і викривлення виробу; рівномірну висоту і рельєф наплавленого шару.

Переваги електродугового наплавлення [11]:

Дугове наплавлення покритими електродами відрізняється низькою вартістю обладнання, можливістю виконання наплавлення вручну, що забезпечує цьому способу найширше застосування для наплавлення не тільки чорних, але і кольорових металів.

1. Можливість наплавлення виробі складної форми;
2. Можливість вибору наплавочного матеріалу, найбільш придатного для конкретного призначення

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Незважаючи на всі переваги, існуюча технологія ремонту лопаток методом електродугового наплавлення не задовольняє сучасним техніко-економічним вимогам:

1. Великі припуски на подальшу механічну обробку (до 3 мм), збільшують собівартість ремонту.

2. Значні зони термічного впливу до 10 мм і довше вимагають подальшої термічної обробки.

3. У зоні електродугового наплавлення утворюється несприятлива з точки зору зносу лопатки грубозерниста структура.

Застосування електродугового наплавлення не задовольняє сучасним техніко-економічним вимогам, тому прийнято рішення модернізувати існуючу технологію за допомогою зміни способу наплавлення на імпульсне лазерне наплавлення. Імпульсне лазерне наплавлення характеризується мінімальними тепловкладенням в деталь, яка наплавляється, що відкриває можливість збереження геометричних розмірів у полі допуску, а також збільшує ресурс роботи деталей за рахунок підвищення якості наплавленого шару [11].

Технологія відновлення зношених лопаток турбін способом імпульсного лазерного наплавлення дозволяє в значній мірі усунути недоліки, властиві традиційними технологіями ремонту лопаток і отримати значний економічний ефект за рахунок зниження трудомісткості ремонту і підвищення ресурсу роботи лопаток.

Аналіз умов, в яких працюють лопатки зумовлює такі вимоги до матеріалу соплових лопаток турбін: [11]

1. Висока жароміцність, тобто збереження високих показників міцності при високій робочій температурі;

2. Висока пластичність, необхідна для рівномірного розподілу напружень по всій площі поперечного перерізу лопатки;

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Висока втомна міцність (витривалість);

4. Стабільність структури, що забезпечує незмінність механічних властивостей під час експлуатації турбін;

5. Висока опірність окислення

6. Висока опірність ерозії.

Лазерне наплавлення - процес, що ідеально підходить як для створення абсолютно нової поверхні, так і відновлення пошкоджених або зношених поверхонь.

При виборі лазерного наплавлення необхідно звертати увагу на те, що цей процес є дорогим (на даний момент розвитку лазерної техніки). Як наслідок, потенціал технології розвивається недостатньо швидко.

Імпульсне лазерне наплавлення пропонує нові можливості по відновленню зношених деталей. Дуже часто дані підходи є єдино можливими і економічно-ефективними.

Імпульсне лазерне наплавлення нових виробів може призвести до поліпшеним механічним характеристикам, таким як підвищена зносостійкість.

Деякі переваги, якими володіє технологія лазерного наплавлення перед іншими способами [12]:

1. Технологія лазерного наплавлення відрізняється найменшою енергоємністю і характеризується мінімальними значеннями питомої погонної енергії, що забезпечує мінімальну кількість тепловкладання в деталь яка наплавляється і дозволяє отримати мінімальні деформації після наплавлення.

2. Високий коефіцієнт зосередженості лазерного зварювального джерела енергії, дозволяє отримати мінімальні обсяги ванни розплаву присадочного матеріалу.

3. Швидкість охолодження наплавленого поверхневого шару досягає 103 - 104 град/см, що призводить до формування надзвичайно дрібнодисперсної структури, яка має підвищену зносостійкість.

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Лазер, в даний час є єдиним доступним зварювальним джерелом енергії.

Надійність і довговічність лопаток турбін є вирішальними факторами, від яких залежить ресурс роботи газоперекачувальних агрегатів. Застосування лазерного наплавлення дозволяє збільшити ресурс роботи наплавлених деталей на рівні нових і вище, що дозволяє значно знизити витрати на експлуатацію.

При виборі джерела енергії для відновлення і зміцнення деталей враховується технічна і технологічна можливість застосування даного джерела, економічна ефективність, а також надійність відновленої деталі або стійкість зміцненого інструменту [28].

Як впливає з таблиці 1.1, найбільшою концентрацією енергії в плямі нагріву має імпульсна електрична іскра.

Багаторазові спроби впровадження в ремонтне виробництво для відновлення і зміцнення деталей концентрованих джерел енергії з питомою потужністю в плямі нагріву понад 10^4 Вт/мм² закінчувалися невдало з різних причин. Головні з них - це неузгоджене дію фахівців за різними джерелами енергії і технологів, неправильний вибір об'єктів для обробки і незадовільна підготовка операторів.

Концентрація енергії термічних джерел може оцінюватися питомою потужністю в плямі нагріву. Найбільшу інтенсивність енергії - до 10 Вт/мм² і вище при плямі нагріву до 10^{-6} мм² - можуть мати лазерний і електронний промені.

Однак зварювання можливе тільки до щільності потужності $10^2 \dots 10^4$ Вт/мм², так як великі питомі потужності призводять до виплеску і випаровуванню матеріалу, корисного лише при різанні і розмірної обробці виробів. Питома потужність променя і енергетичні коефіцієнти наплавлення,

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розплавлення і інші придатні для оцінки тільки окремих видів джерел енергії або методів зварювання.

Таблиця 1.3. Енергетичні характеристики термічних джерел нагріву.

Джерело енергії	Температура полум'я або дуги, К	Найменша площа нагріву, мм ²	Найбільша щільність енергії в плямі, Вт/мм ²
Ацетилено – кисневе полум'я	3000...3500	1	$5 \cdot 10^2$
Дуга в парах: лужних металів заліза	4000...5000	1	$1 \cdot 10^3$
	5000...6000	1	$1 \cdot 10^3$
Дуга в газах: водень, азот аргон, гелій	5000...8000	$1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^3$
	10000...20000	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^3$
Мікроплазмова дуга	-	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^6$
Електронний промінь	-	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^7$
Лазерний промінь	-	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^8$
Електрична іскра в газовому середовищі	7000...20000	$1 \cdot 10^{-6}$	$10^6 \dots 10^9$

Відновлення і зміцнення деталей і інструментів електричної іскрою засноване на експериментально встановлений факт, що під впливом електричного імпульсного розряду в газовому середовищі, що протікає між електродом - анодом (електрод) і електродом-катодом (деталь, інструмент), відбувається їх руйнування і спрямований перенесення еродованих матеріалів на протилежні електроди.

Нагрівання плазмовою дугою.

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У дузі, обтиснень потоком газу, концентрація теплової енергії значно підвищується. Діапазон сили струму, при якому забезпечується стійке горіння дуги, досить широкий: від 0,1 ... 10 (мікроплазмова дуга) до 1000 ... 1500 А.

1.6. Комп'ютерне моделювання температурних полів

Засоби автоматизації інженерного аналізу, які засновані на чисельних методах, стали невід'ємною частиною процесу проектування виробу. Для успішного застосування кожен розрахунковий пакет повинен відповідати двом вимогам: втілювати найефективніші чисельні алгоритми та надавати користувачеві розвитий набір сервісних функцій по підготовці вихідних даних, обробці результатів розрахунку [15].

Далі наведемо можливості найбільш потужних розрахункових комплексів, що використовують метод скінчених елементів.

SYSWELD – програма для інженерних розрахунків процесів зварювання і термічної обробки (ESI Group - французька фірма, створена в 1973 році, є абсолютним лідером по створенню крізних САПР в автомобільній промисловості, включаючи програми віртуального тестування прототипів і моделювання технологічних процесів).

LS-DYNA (Livermore Software Technologies Corp.) – багатоцільова програма, яка використовує явне формулювання методу скінчених елементів (MCE), призначена для аналізу нелінійного динамічного відгуку тривимірних пружних структур. LS-DYNA була задумана як частина оборонної програми США й дотепер є нею.

ADAMS (Mechanical Dynamics, Inc.). На сьогоднішній день ADAMS знаходить застосування в автомобілебудуванні, авіабудуванні, космонавтиці, залізничному транспорті, загальному машинобудуванні, суднобудуванні, робототехніці, приладобудуванні, біомеханіці й навіть в індустрії відпочинку й розваг.[15]

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ProCAST(UES, CALCOM). Відповідно до досліджень, які провели експерти NASA, ProCAST визнана найбільш потужною та коректною програмою для розрахунку ливарних процесів. ProCAST дозволяє інженерів-проектувальників розраховувати та візуалізувати у тривимірній постановці процес руху й затвердження металу у формі, передбачати мікроструктуру, виникнення раковин, пористості, мінімізувати залишкові напруження, контролювати тепловий баланс системи «виливка-форма» тощо. За результатами розрахунку можуть бути отримані оптимальні розташування газоотводу, холодильника, ливарних каналів.

Pro/Engineer. Pro/MESH, Pro/FEM-POST й Pro/SURFACE - модулі Pro/Engineer для розрахунку на міцність методом скінчених елементів.

Програмний комплекс ANSYS (ANSYS, Inc.). ANSYS уже більше 25 років входить до числа важких скінчено-елементних розрахункових комплексів. ANSYS починався як система для внутрішнього використання фірми Westinghouse Electric, ANSYS проникнув зі своєї «материнської» області, ядерної енергетики, в усі області промисловості, отримав довіру багатьох тисяч користувачів по всьому світі. Такий успіх досягнутий на підставі наступних найважливіших відмінних рис:

- 1) ANSYS - єдина скінчено-елементна система з таким повним охопленням явищ різної фізичної природи: міцність, теплофізика, гідрогазодинаміка й електромагнетизм із можливістю рішення зв'язаних завдань, що поєднують всі перераховані види;
- 2) найширша інтеграція й двосторонній обмін даними з усіма CAD / CAE / CAM - системами;
- 3) відкритість (тобто модифікуємість і доповненість);
- 4) найвищий показник «ефективність/вартість»;
- 5) серед безлічі скінчено-елементних програмних комплексів ANSYS – перший й єдиний з розроблених і сертифікованих відповідно до

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

міжнародних стандартів ISO 9000 й ISO 9001;

б) ANSYS надає унікальну по повноті й саму велику по змісту сучасну систему *help* на основі гіпертекстового подання, доступ до якої здійснюється в інтерактивному режимі *online*.

Препроцесор ANSYS дозволяє не тільки створювати геометричні моделі власними засобами, але імпортувати вже готовими, створеними засобами CAD-систем. Треба відзначити, що геометрична модель надалі може бути модифікована будь-яким образом, оскільки при імпорті здійснюється перетрансляція даних у геометричний формат ANSYS, і деталь не підмінюється «недоторканою» скінчено-елементною сіткою. Користувач може видаляти несуттєві дрібні подробиці, добудовувати певні деталі, проводити згущення сітки й інших найважливіших операцій, без яких подальше рішення може бути зовсім некоректно або взагалі виявиться недосяжним [16].

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки і завдання дипломного проекту

Виготовлення деталей ГТД з жароміцних ливарних сплавів можливо тільки єдиним прийнятним способом - точним литтям. Основними видами литих деталей є гарячі тріщини. Головними характеристиками жароміцності сплавів є тривала міцність і пластичність, опір повзучості.

Розміри зварного шва, структури зони термічного впливу (ЗТВ) зварної конструкції значною мірою визначається тепловими процесами, зокрема характером температурних полів. Існуючі методики розрахунку температурних полів, не дозволяють з точністю описати розподіл температур у зварному з'єднанні з урахуванням впливу кінцевих ділянок шва.

Застосування комп'ютерного моделювання на основі методу скінчених елементів (МСЕ), який широко застосовується у всьому світі, дозволяє суттєво підвищити точність розрахунків температурних полів, також дозволяє з достатнім ступенем вивчати і моделювати процеси протікають при виправленні дефектів лиття за допомогою зварювання і наплавлення із застосуванням локального джерела нагріву. Тому, розробка методики комп'ютерного моделювання температурних полів з використанням МСЕ є актуальною задачею для науково – дослідних установ.

Метою даного проекту є дослідження методом комп'ютерного моделювання температурних полів при відновленні жароміцного нікелевого сплаву з застосуванням МСЕ. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Розробка математичної моделі для комп'ютерного моделювання температурних полів.
2. Обґрунтувати вибір граничних умов та побудувати комп'ютерну модель.
3. Виконати моделювання температурних полів при дії різних діаметрів плями нагріву.
4. Проаналізувати результати моделювання температурних полів при локальному дії нагріву.
5. Зробити висновки.

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					КР.131.6121м.05.02.ПЗ			
Изм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Вибір методики розрахунку температурних полів при локальному нагріві			
Студент	Андрієвський Д.О.							
Керівник	Лабарткава О.В.							
Зав.Кафед.	Драган С.В.							
					Лит.		Арку	Аркуш
					НУК ім. адмірала Макарова			

2. Вибір методики розрахунку температурних полів при локальному нагріві

2.1. Суть методу скінчених елементів

Методи розрахунку, що засновані на гіпотезі плоских перерізів (ГПП), унаслідок своєї простоти знайшли широке застосування в інженерній практиці. Вони використовуються при розрахунках як міцності зварних з'єднань і конструкцій, так і власних деформацій і напружень. На жаль, вони дають досить точні результати тільки для конструкцій і елементів конструкцій, у яких довжина (один з розмірів) у кілька разів (6-10) більше двох інших розмірів (висоти і ширини), тобто для стрижнів, балок, стійок тощо. В більшості випадків це задовольняє інженера [16]. Але на практиці також приходиться мати справи з плоскими й об'ємними елементами і конструкціями. Крім того, в машинобудуванні широко використовуються вузли з різнорідних матеріалів, які отримані дифузійним зварюванням та паянням. Для таких конструкцій більш точну і повну картину дають методи теорії пружності і пластичності.

Однак ці методи відрізняються не тільки більшою складністю, але, головне, рішення в загальному виді задач теорії пружності (інтегруванням диференціального рівняння) можуть бути отримані для обмеженого числа порівняно простих задач. Разом з тим, в останні роки в зв'язку із широким поширенням і удосконалюванням електронно-обчислювальної техніки усе більш широке застосування одержали чисельні методи, зокрема, метод скінчених елементів (МСЕ)[16].

2.2. Фізична сутність методу скінчених елементів

Фізична сутність МСЕ ґрунтується на представленні конструкції у вигляді сукупності окремих (геометрично визначених) скінчених елементів, з'єднаних між собою у вузлових точках. У цих точках прикладаються деякі

					КР.131.6121м.05.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фіктивні зусилля взаємодії, які характеризують дію розподілених внутрішніх напружень, прикладених уздовж реальних границь суміжних елементів. Задача зводиться до розрахунку пружної системи з певним скінченим числом ступенів свободи [16].

Заміна вихідної конструкції сукупністю дискретних скінчених елементів припускає рівність енергії конструкції і її дискретної моделі. Для деяких конструкцій отримання енергетичного балансу веде до одержання дискретної моделі, яка точно описує поведження вихідної конструкції. До таких конструкцій відносяться вже складені з дискретних елементів конструкції: ферми, рами, перекриття тощо.

У випадку, якщо елементи реальної конструкції мають уздовж своєї границі безперервні зв'язки із суміжними елементами, то дискретна модель буде тільки приблизно відбивати поведження вихідної конструкції. Характер взаємодії повинен бути обраний таким, щоб зменшення розмірів скінчених елементів призводило до одержання рішення, яке наближається до точного.

Після ідеалізації конструкції у вигляді сукупності дискретних скінчених елементів визначається зв'язок між вузловими переміщеннями і вузловими зусиллями кожного скінченого елемента, тобто визначаються його пружні властивості. Це робиться в матричній формі; кінцевою метою є визначення матриці жорсткості – спочатку для кожного окремого скінченого елемента, а потім для всієї конструкції в цілому.

2.3. Математична сутність методу скінчених елементів

Теоретично основа методу базується на відомому принципі можливих переміщень Лагранжа, що формулюється так: «якщо система матеріальних точок перебуває в рівновазі, то робота всіх прикладених до неї сил на будь-яких можливих нескінченно малих відхиленнях від положення рівноваги

					КР.131.6121м.05.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дорівнює нулю». Це відповідає мінімуму функціонала потенційної енергії деформації системи [17].

У результаті мінімізації функціонала потенційної енергії деформації утримується диференціальне рівняння Ейлера-Лагранжа. Точне рішення цього диференціального рівняння в реальній постановці задачі через складність навантаження конструкції та граничних умов звичайно неможливо. Тому йде пошук наближеного рішення за відомими методами Релея, Рітца, Бубнова-Гальоркіна. У методі Бубнова-Гальоркіна рішення знаходиться у вигляді ортогональних функцій, що призводить до системи лінійних алгебраїчних рівнянь для коефіцієнтів розкладання, що відшукуються. Отримана матриця рішення цієї системи і є наближеним рішенням для переміщень у вузлах.

Система рівнянь трактується як матричне рівняння рівноваги, у якому головне місце займає так звана *матриця жорсткості системи*. Іноді зручно одержати матрицю жорсткості системи не з мінімізації функціонала, а з принципу можливих переміщень стержневих систем.

У методі скінчених елементів, як ні в якому іншому методі чисельного аналізу, гармонійно проявляється синтез методів теорії пружності, пластичності і будівельної механіки, що поєднує суміжні розділи наук про жорстке деформоване тіло в єдину галузь – будівельну механіку конструкції різноманітних об'єктів: літака, ракети, корабля, нафтопроводу тощо [17].

Універсальність МСЕ проявляється в його використанні для розв'язування різноманітних задач теплопровідності, дифузії, геофізики, фільтрації в пористих середовищах, розрахунку складних магнітних полів тощо, як завдань механіки суцільного середовища.

Мета – одержати для скінченого елемента рівняння у вигляді $\{P\} = [k] \{\delta\}$, що зв'язує сили $\{P\}$ та переміщення $\{\delta\}$ у вузлах за допомогою матриці жорсткості $[k]$.

					КР.131.6121м.05.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4. Вибір типу скінчених елементів

Як відомо з основної концепції МСЕ, вся модель конструкції (або окремої її частини) ділиться на велику кількість скінчених елементів, з'єднаних між собою у вершинах (вузлах). Сили діють у вузлах. Скінчений елемент не є «абсолютно жорстким» тілом. Скінчено-елементна модель припускає, що напруження й деформації є й поза даним скінченим елементом [18].

Є декілька найбільш уживаних типів скінчених елементів: брус, стрижень, тонка пластина або оболонка, двовимірне або тривимірне тіло. Природно, що при побудові моделі можуть бути використані не один, а кілька типів елементів.

Точність розрахунків МСЕ залежить від багатьох факторів, у тому числі й від кількості скінчених елементів. Однак, якщо напруження не міняються значно в межах моделі, то кількість скінчених елементів несуттєво впливає на точність обчислення напружень.

Скінчені елементи можуть бути лінійними (елементи першого порядку) або параболічними (елементи другого порядку). Лінійні елементи мають прямі сторони й вузли тільки в кутах. Таким чином, мінімальне число вузлів тривимірного елемента дорівнює 4. Параболічні елементи можуть мати проміжний вузол уздовж кожної зі сторін. Саме завдяки цьому сторони елемента можуть бути криволінійними (параболічними). При однаковій кількості елементів параболічні елементи дають більшу точність обчислень, тому що вони більш точно відтворюють криволінійну геометрію моделі й мають більш точні функції форми (апроксимуючі функції). Однак розрахунок із застосуванням скінчених елементів високих порядків вимагає більших комп'ютерних ресурсів і більшого машинного часу.

Необхідно пам'ятати, що МСЕ – наближений метод, точність якого залежить від правильного вибору типів і розмірів скінчених елементів. Так, наприклад, більш часта сітка потрібна там, де очікується великий градієнт

					КР.131.6121м.05.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

деформацій або напружень. У той же час більше рідка сітка може застосовуватися в зонах з більш-менш постійними деформаціями або напруженнями, а також в областях, що не представляють особливого інтересу. У зв'язку із цим потрібно вміти передбачати області концентрації напружень. Точність результатів аналізу зменшується, якщо розміри сусідніх елементів поблизу концентратора напружень істотно різні.

Форма скінчених елементів також впливає на точність обчислень. Із цього погляду варто уникати занадто вузьких і витягнутих елементів, тому що елементи із приблизно однаковими сторонами дають меншу похибку. Одночасно в сітці можуть бути присутні трикутні й чотирикутні елементи, однак між ними не повинно бути розривів [18].

2.4.1. Завдання та вибір граничних умов

Завдання граничних умов – один з відповідальних етапів скінчено-елементного аналізу. Граничні умови (переміщення або сили) прикладаються тільки до вузлів. Максимальне число граничних умов, прикладених у вузлі, дорівнює числу його ступенів свободи – 3 сили або 3 переміщення [16,17].

Граничні умови визначають закон взаємодії між навколишнім середовищем і поверхнею тіла. Граничні умови можуть бути задані різними способами:

1. Гранична умова першого роду задає розподіл температури по поверхні тіла в будь-який момент часу, тобто.

$$T|_S(t) = f(t)$$

де $T|_S$ - температура поверхні тіла. В окремому випадку $T|_S(t) = T_c$, тобто температура на поверхні постійна протягом усього процесу теплообміну. Це може бути здійснено при штучному підтриманні постійної температури або при особливих умовах теплообміну (див. Гранична умова третього роду).

					КР.131.6121м.05.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Гранична умова другого роду полягає в завданні щільності теплового потоку для кожної точки поверхні тіла як функції часу, тобто.

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_S (t) = q(t)$$

де n - нормаль до граничної поверхні S . Найпростіший випадок граничної умови другого роду полягає у сталості щільності теплового потоку:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_S (t) = q_c$$

Такий випадок теплообміну має місце при нагріванні тіл в високотемпературних печах, де передача тепла в основному відбувається за допомогою випромінювання за законом Стефана - Больцмана, коли температура тіла значно менше температури випромінюючих поверхонь.

3. Гранична умова третього роду характеризує закон конвективного теплообміну між поверхнею тіла і навколишнім середовищем (закон Ньютона). У цьому випадку кількість тепла, переданого в одиницю часу з одиниці площі поверхні тіла в навколишнє середовище з температурою T_c , прямо пропорційно різниці температур між поверхнею тіла і навколишнім середовищем, тобто

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_S = \sigma (T|_S - T_c)$$

де σ - коефіцієнт теплообміну.

4. Гранична умова четвертого роду відповідає теплообміну поверхні тіла з навколишнім середовищем або теплообміну дотичних твердих тіл. При цьому мають місце співвідношення:

$$T|_S = T_c|_S, \\ -\lambda \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_S = -\lambda_c \frac{\partial T_c}{\partial n} \Big|_S,$$

Тобто, на границі зіткнення забезпечується рівність температур і рівність потоків тепла.

					КР.131.6121м.05.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Схема розміщення граничних умов залежить від виду навантаження (розтяг, чистий вигин, зсув). Якщо конструкція має осі або площини симетрії, то при визначенні граничних умов необхідно враховувати симетричність, це дає можливість значно скоротити витрати машинного часу та пам'яті.

Отже, в даному проекті для комп'ютерного моделювання температурних полів обираємо граничні умови другого та третього роду.

2.5. Вибір програмного комплексу для моделювання температурних полів

Розвиток техніки ставить нові завдання в галузі дослідження працездатності машин та їх елементів. Підвищення їх надійності та довговічності, будучи найважливішим чинником, що визначає зростання конкурентоспроможності виробів, пов'язане з достовірним визначенням "небезпечних" місць конструкції. Найбільш ефективним широко використовуваним сучасним засобом досягнення поставленої мети є використання МСЕ [18].

В даний час існує досить багато програмних продуктів для вирішення окремих класів задач, заснованих на методі МСЕ. Можна підібрати програмний продукт практично для будь-якої задачі [18]. Одним з найбільш потужних комерційних програмних продуктів є ANSYS.

ANSYS дозволяє вирішувати проблеми міцності, теплофізики, гідрогазодинаміки, електромагнетизму разом з розрахунком характеристик стомленості і процедурами оптимізації. Єдина система команд й єдина база даних повністю виключають проблеми інтеграції й взаємного обміну між зазначеними сферами. Більше того, у програмі використані спеціалізовані скінченні елементи, що мають, крім переміщень і поворотів у вузлах, ступені волі по температурі, напруженню тощо, а також перемикання типу елемента, наприклад електромагнітного на міцність [18]. Завдяки цьому, у програмі

					КР.131.6121м.05.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

реалізовані унікальні можливості проведення зв'язаного аналізу. Оптимізація конструкції, таким чином, може вестися з обліком усього різноманіття фізичних впливів на неї.

До складу програмного комплексу ANSYS входять:

- ANSYS / Multiphysics - програма для широкого кола інженерних дисциплін, яка дозволяє проводити розрахунки в області міцності, поширення тепла, механіки рідин і газів, електромагнетизму, а також вирішувати пов'язані завдання;

- ANSYS / Mechanical - програма для виконання проектних розробок, аналізу та оптимізації: рішення складних задач міцності конструкцій, теплопередачі та акустики. Ця програма дозволяє визначати переміщення, напруження, зусилля, температури, тиску та інші параметри, важливі для оцінки механічної поведінки матеріалів і міцності конструкції. Дана програма є підмножиною ANSYS / Multiphysics;

- ANSYS / Structural - виконує складний прочностний аналіз конструкцій з урахуванням різноманітних нелінійностей, серед яких геометрична і фізична нелінійність, нелінійне поведінку кінцевих елементів і втрата стійкості. Використовується для точного моделювання поведінки великих і складних розрахункових моделей. Дана програма є підмножиною ANSYS / Mechanical;

- ANSYS / Thermal - це окрема програма, виділена з пакета ANSYS / Mechanical, для вирішення теплових стаціонарних і нестаціонарних задач;

- ANSYS / LS-DYNA - програма, призначена для вирішення міцнісних задач динаміки при великих нелінійних. Ця програма може використовуватися для чисельного моделювання процесів формоутворення матеріалів, аналізу аварійних зіткнень і ударів при кінцевих деформаціях, включаючи пробивання, нелінійне поведінку матеріалу і контактна взаємодія елементів конструкції;

- ANSYS / ED - являє собою програму, що володіє можливостями ANSYS / Multiphysics, але має обмеження за розмірами розрахункової моделі. Ця програма призначена для навчальних цілей.

					КР.131.6121м.05.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У результаті багаторічного співробітництва фірм ANSYS Inc. і LSTC у програму включений модуль ANSYS/LS-DYNA – повністю інтегрована в середовище ANSYS всесвітньо відома програма для високо нелінійних розрахунків LS-DYNA. З'єднання в одній програмній оболонці традиційних методів рішення зі зверненням матриць і математичного апарата програми LS-DYNA, яка використовує явний метод інтегрування, дозволяє переходити з неявного на явний метод рішення й навпаки. Описаний підхід поєднує переваги обох методів і дозволяє чисельно моделювати процеси формування матеріалів, аналізу аварійних зіткнень (наприклад, автомобілів) і ударів при скінчених деформаціях, нелінійному поводженні матеріалу й контактній взаємодії великого числа тіл. З використанням цієї функції переходу можуть бути вирішені завдання динамічного поводження попередньо напружених конструкцій (влучення птаха в турбіну двигуна, сейсмічний аналіз споруджень, навантажених, наприклад, власною вагою й т.д.) і завдання дослідження розвантаження конструкцій, які піддаються більшим деформаціям [18].

Рішення завдань за допомогою програми ANSYS складається із трьох етапів: препроцесорна (попередня) підготовка (*Preprocessing*), одержання рішення (*Solving the Equations*) і постпроцесорна обробка результатів (*Postprocessing*).

На стадії препроцесорної підготовки виконується вибір типу розрахунку, побудова моделі й додаток навантажень (який включає й граничні умови). Тут задаються необхідні для рішення вихідні дані. Вибираються координатні системи й типи скінчених елементів, указуються пружні, постійні й фізико-механічні властивості матеріалу, будується жорсткотільна модель і сітка скінчених елементів, виконуються необхідні дії з вузлами й елементами сітки, задаються рівняння зв'язку й обмеження.

Вихідні дані, уведені при препроцесорній підготовці, стають частиною Центральної бази даних програми. Ця база даних розділена на таблиці

					КР.131.6121м.05.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

координатних систем, типів елементів, властивостей матеріалу, ключових точок, вузлів сітки, навантажень т.д.

У програмі ANSYS існують три різних способи побудови геометричної моделі: імпорт моделі, попередньо побудованою іншою програмою; жорсткотільне моделювання й безпосереднє створення моделі в інтерактивному режимі роботи із програмою. Можна вибрати кожний із цих методів або використати їхню комбінацію для побудови розрахункової моделі. Після того, як побудована жорсткотільна модель, будується її скінчено-елементний аналог (тобто сітка вузлів й елементів). Бібліотека скінчених елементів програми ANSYS містить велику кількість типів, кожний з яких визначає застосовність елемента до тієї або іншої області розрахунків, а також двовірність (2-D) або тривимірність (3-D) елемента [19].

Після вибору типу елементів необхідно задати їхні константи. Константи елемента – це властивості, специфічні для даного типу елемента. Властивості матеріалу потрібні для більшості типів елементів.

Властивості можуть бути лінійними, нелінійними або анізотропними. Лінійні властивості можуть залежати або не залежати від температури, бути ізотропними або ортотропними. Залежність властивостей від температури має форму полінома (аж до четвертого ступеня) або задається у вигляді таблиці. Нелінійні співвідношення, такі як криві деформування матеріалу для різних видів зміцнення, криві повзучості, залежності для радіаційного розпухання, опис гіперпружних властивостей, задаються у вигляді таблиці.

У програмі ANSYS навантаження розділені на наступні категорії: обмеження ступенів волі; зосереджені сили й моменти сил; поверхневі навантаження; об'ємні сили; інерційні навантаження.

Після того, як всі відповідні параметри задані, може бути виконане й саме рішення. По команді *SOLVE* програма звертається за інформацією про модель і навантаження до бази даних і виконує обчислення. Результати записуються в спеціальний файл й у базу даних. Програмою виконується

					КР.131.6121м.05.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рішення визначальних рівнянь й одержання результатів для обраного виду аналізу. В обчислювальному відношенні це сама інтенсивна частина аналізу, не потребує втручання користувача [19].

У програмі ANSYS стадія постпроцесорної обробки йде за стадіями препроцесорної підготовки й одержання рішення. За допомогою постпроцесорних засобів програми є можливість звернутися до результатів рішення й інтерпретувати їх потрібним образом.

Результати рішення включають значення переміщень, температур, напружень.

Підсумком роботи програми на постпроцесорній стадії є графічне або табличне подання результатів. Графічне зображення може бути виведене на монітор в інтерактивному режимі під час постпроцесорної обробки або перетворено у жорстку копію.

2.6. Загальний алгоритм розрахунку температурних полів

Виходячи з математичних передумов МКЕ і особливостей реалізації його на ЕОМ загальний алгоритм розв'язання задачі теплових процесів конструкції з однорідних матеріалів представлено у вигляді блок-схеми наведеної на рис.2.1.

Вихідна інформація про конструкцію включає в себе:

- Фізичні властивості матеріалів конструкції: коефіцієнти теплового лінійного розширення;
- Геометричні характеристики конструкції і складових її елементів – довжина, товщина;
- Частота розбивки конструкції на КЕ по довжньому і поперечному напрямках;
- Граничні умови (наявність обмежень переміщень окремих вузлів конструкції);

					КР.131.6121м.05.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Температура нагрівання (охолодження) конструкції або окремих її частин.

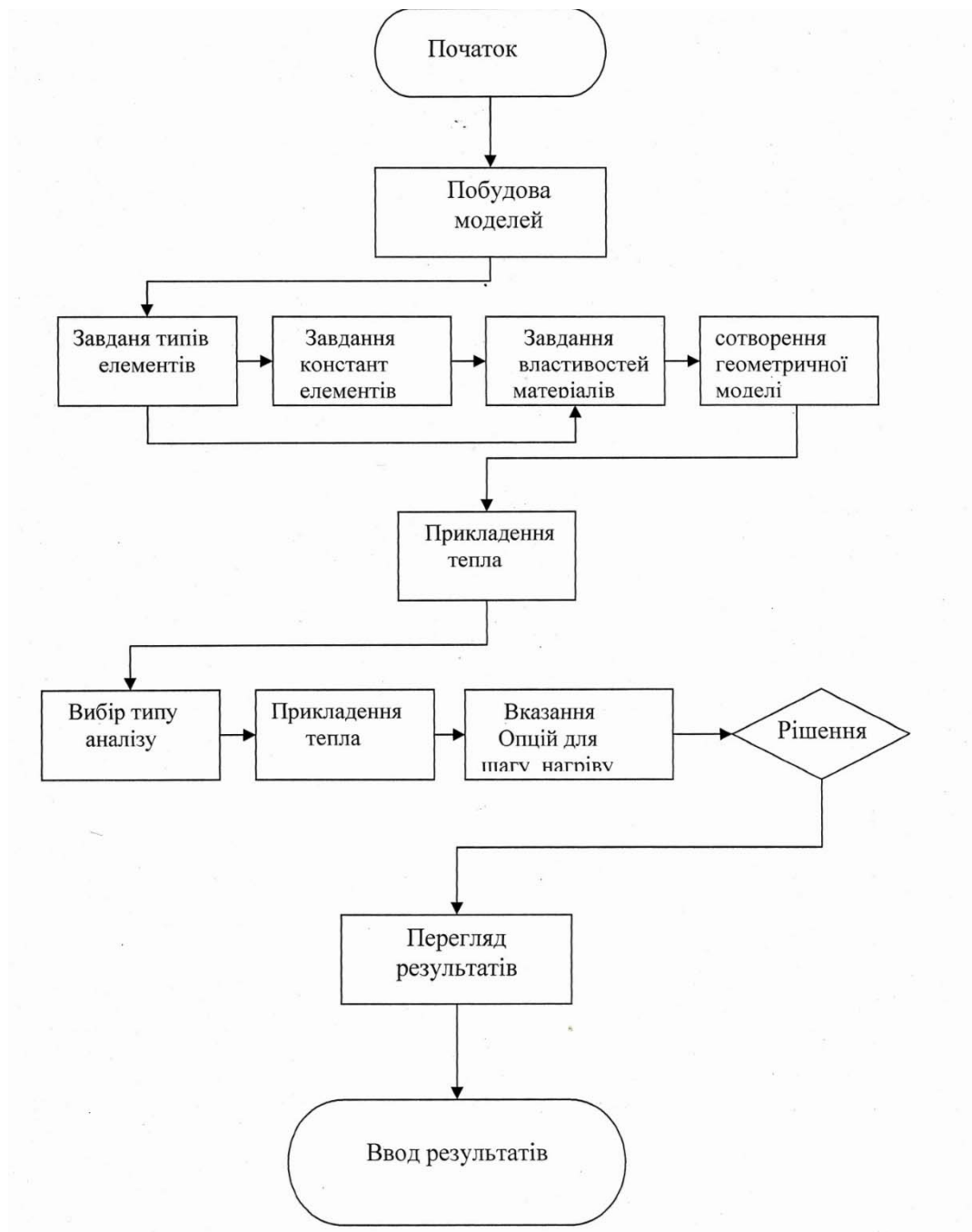


Рис.2.1. Блок - схема розрахунку в програмі ANSYS

При виборі частоти розбивки конструкції на КЕ слід керуватися такими міркуваннями: Відповідно до прийнятих в розрахунку гіпотезами розподілу температури по гранях КЕ мають лінійний характер. Точність заміни кривої

лаваною лінією природно залежить від конструкції на КЕ має бути по можливості більш дрібним.

Разом з тим зі збільшенням частоти розбивки збільшує загальний час розрахунку.

Оптимальною можна вважати змінну частоти розбивки зі зменшенням кроку в місцях очікуваних великих градієнтів температур. Крім того, можна скористатися властивостями симетрії конструкції, розглядаючи тільки частина конструкції по одну сторону від осі симетрії і накладаючи відповідні обмеження на переміщення, розташованих на осі симетрії.

- На підставі вихідної інформації про геометричні розміри конструкції в цілому і окремих її частин, а також частоті розбивки на КЕ і формі останніх ЕОМ визначає координати кожного КЕ. Як координат КЕ прийнята координата одного з його візлів щодо початку загальної системи координат всієї конструкції.

					КР.131.6121м.05.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

Розвиток техніки ставить нові завдання в галузі дослідження температурних полів. Підвищення їх надійності та довговічності, є найважливішим фактором, що визначає зростання конкурентоспроможності виробів.

Найбільш ефективним широко використовуваним сучасним способом досягнення поставленої мети є використання методу скінчених елементів.

Метод скінчених елементів дозволяє значно зменшити витрати при розробці нових виробів, так як дозволяє істотно скоротити обсяги або навіть повністю відмовитися від дорогих стендових випробувань. Крім того за допомогою методу скінчених елементів можна в порівняно короткі терміни оцінити характеристики різних варіантів конструкцій і вибрати найкращу. Останнім часом метод скінчених елементів застосовується в самих різних галузях промисловості науки.

В даний час існує досить багато програмних продуктів для вирішення окремих класів задач, застосованих на методі скінчених елементів. Можна підібрати програмний продукт практично для будь-якої задачі.

Один із найбільш потужних комерційних програмних продуктів – це ANSYS. ANSYS відомий на ринку вже понад двадцять років і є найбільш поширеним засобом для наукових та інженерних розрахунків. Особливістю цієї програми є надзвичайно широкий спектр завдань, які він в змозі вирішувати.

					КР.131.6121м.05.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					КР.131.6121м.05.03.ПЗ						
Изм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
					Дослідження температурних полів жаростійких нікелевих сплавів при використанні локального джерела нагріву				Лит.	Арку	Аркуш
Студент	Андрієвський Д.О.										
Керівник	Лабарткава О.В.								НУК ім. адмірала Макарова		
Зав.Кафед.	Драган С.В.										

3. Дослідження температурних полів жароміцних нікелевих сплавів при використанні локального джерела нагріву для виправлення дефектів лиття

3.1. Варіант моделі для розрахунку температурних полів

Моделювання температурних полів при дії локального джерела нагріву використовували за допомогою методу скінчених елементів.

Комп'ютерне моделювання процесу зварювання із застосуванням МСЕ виконувалося на диску діаметром $d=100$ мм та товщиною $s=5$ мм габаритні розміри та зовнішній вигляд моделі зі згенерованою скінчено-елементною сіткою наведені на рис.3.1 (а, б). Товщина диску обиралася виходячи з даних по геометричним параметрам дефектів, які можна виправляти [4].

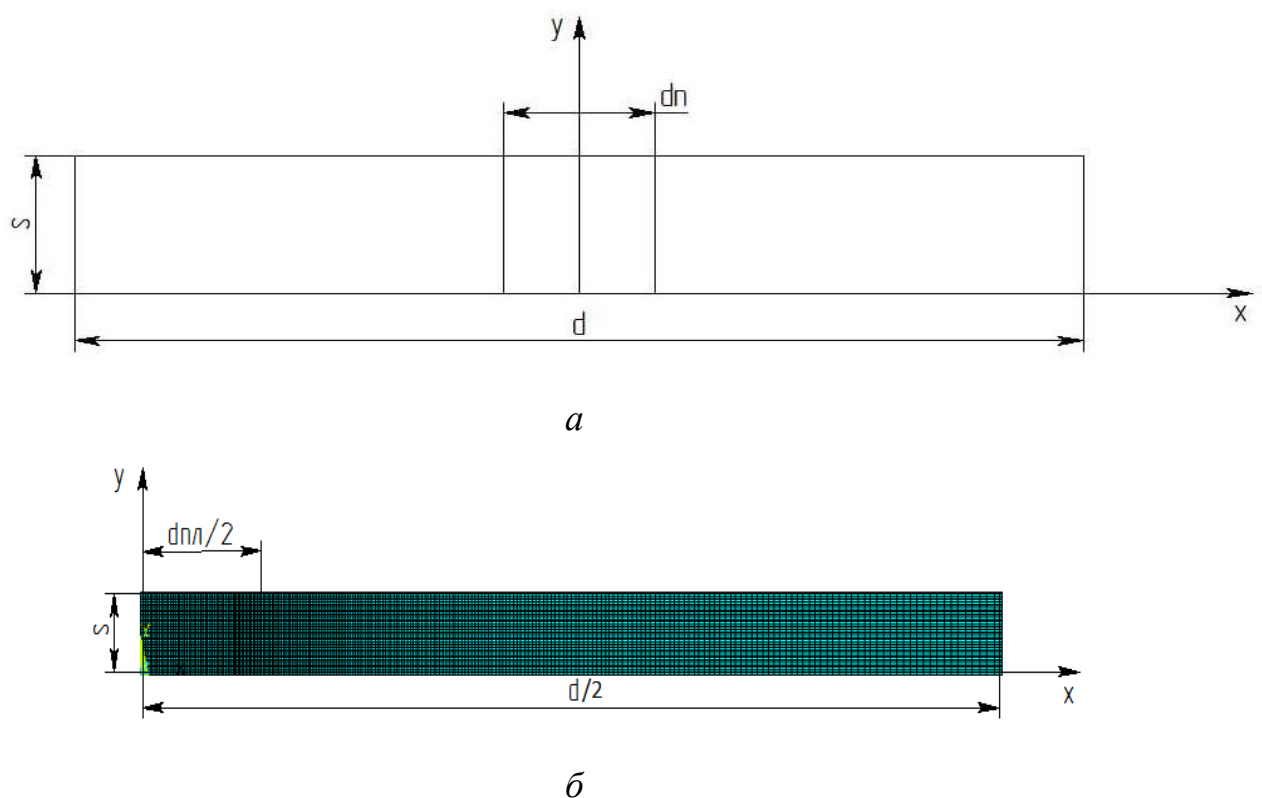


Рис.3.1. Зовнішній вигляд готової моделі:
а - габаритні розміри моделі; б - зовнішній вигляд моделі зі згенерованою скінчено-елементною сіткою

					КР.131.6121м.05.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При розробці комп'ютерної моделі враховували те, що розглянута конструкція є симетричною. Для математичного моделювання полів температур використовувався чотирикутний, лінійний кінцевий елемент типу PLANE223, рис.3.2.

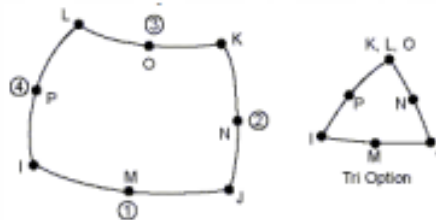


Рис.3.2. Схема елемента PLANE223

Використання елемента PLANE 223, що містить всі необхідні ступені свободи, дозволяє вирішити пов'язану термопрочностную задачу прямим методом. При моделюванні враховують залежність коефіцієнта теплопровідності і ентальпії сплаву від температури (рис.3.3). Механічні властивості приймалися середніми в діапазоні температур і наведені в таблиці 3.1.

Ентальпія розраховувалася за такою формулою:

$$H = \int \rho \cdot C(T) \cdot dT$$

де ρ – густина кг/м^3 ; $C(T)$ – залежність теплоємності від температури $\text{Дж/кг}^\circ\text{C}$.

Таблиця 3.1. Механічні властивості матеріалу

Модуль Юнга, Е, Па	Коеф. Пуасона, μ	Коеф. лінійного теплого розширення, α , $1/^\circ\text{C}$	Густина ρ , кг/м^3	Границя плинності σ_t , МПа
$2 \cdot 10^{11}$	0,3	$12 \cdot 10^{-6}$	8800	150

У даній роботі розглядали джерела локального нагріву з діаметром плями нагріву $d_n = 6 \text{ мм}$, 9 мм і 12 мм . На рис. 3.4 зображена схема скінчено-елементної моделі, яка використовувалася для математичного моделювання.

					КР.131.6121м.05.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

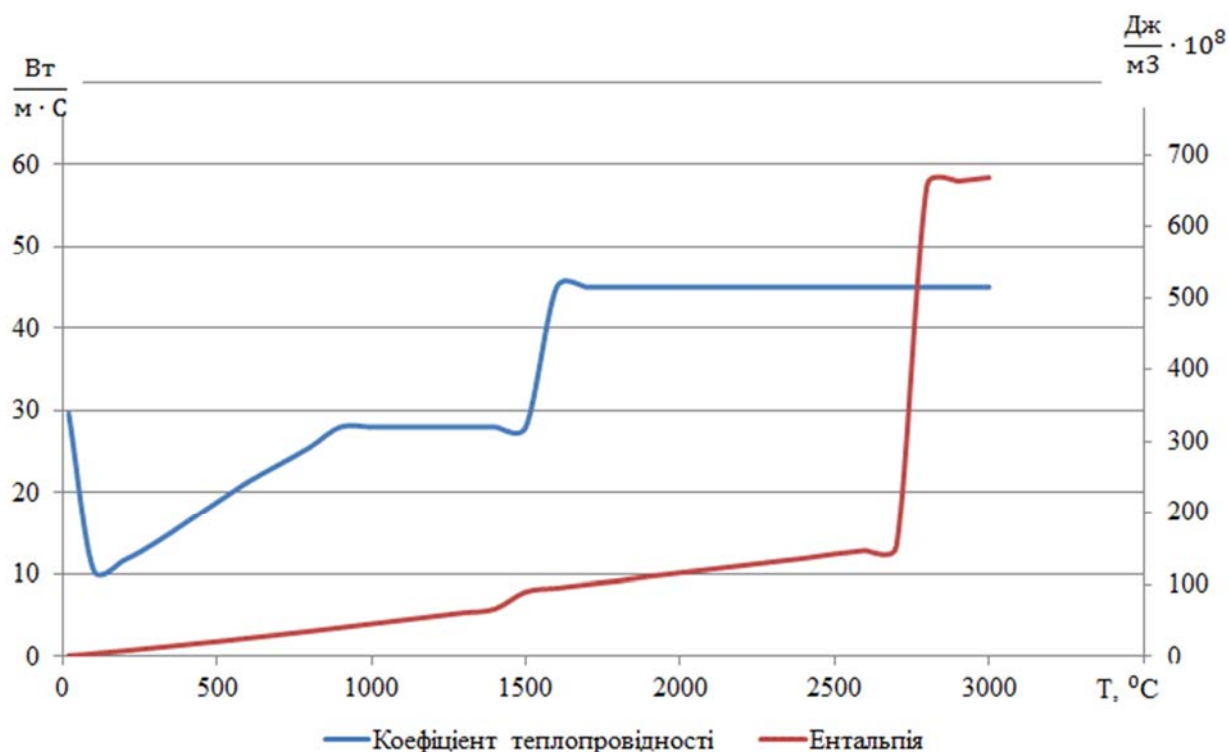


Рис.3.3. Залежність коефіцієнта теплопровідності і ентальпії від температури

Час дії локального джерела нагріву обиралося таким чином, щоб максимальна температура на поверхні пластини не перевищувала 1200-1600°C.

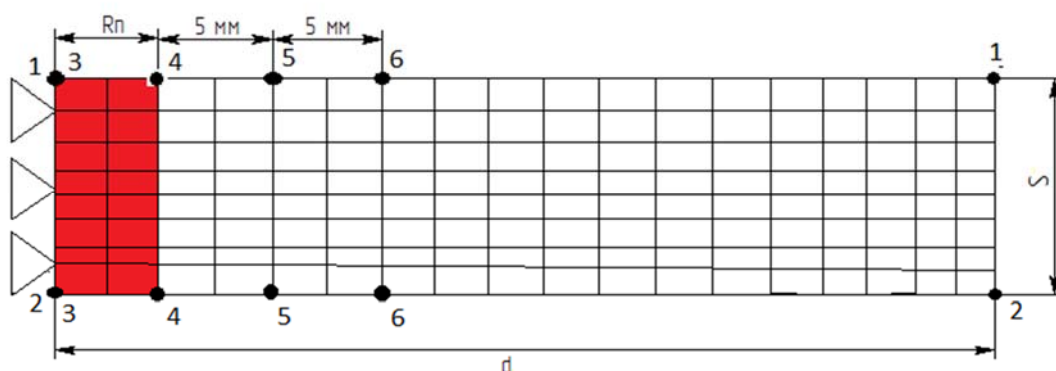


Рис.3.4. Схема скінчено-елементної моделі

Граничні умови по щільності теплового потоку і часу його дії наведені в табл.3.2. На рис.3.4 також наведені шляхи, по яких будували епюри температур. Шлях 1-1 розташований на верхній поверхні зразка, шлях 2-2

					КР.131.6121м.05.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розташований на нижній поверхні зразка, шлях 3-3 розташований на осі симетрії перпендикулярно шляху 1-1, шлях 4-4 знаходиться на границі дії плями нагріву, шлях 5-5 знаходиться на відстані 5 мм від шляху 4-4, шлях 6-6 знаходиться на відстані 10 мм від шляху 4-4.

Таблиця 3.2. Граничні умови

Діаметр плями нагріву, мм	Потужність, Вт	Щільність теплового потоку, МВт/м ²	Час дії теплового потоку, с
6	565	20,0	15
9	565	8,9	15
12	565	5,0	30

3.2. Результати дослідження температурних полів при використанні локального джерела нагріву.

За результатами комп'ютерного моделювання побудовані поля температур в моменти часу рис.3.5 - після закінчення дії джерела нагрівання, рис. 3.6 - 5 секунд охолодження, рис.3.7 - 10 секунд охолодження.

Аналіз полів розподілу температур показав, що відразу після закінчення нагріву для діаметру плями 6 мм існує зона високих температур, яка дорівнює половині товщині зразка. Зі збільшенням діаметру плями нагріву, ця зона зменшується. При діаметрі 6 та 9 мм зразок прогрівається на 1/3 довжини моделі.

Після охолодження 5 секунд для діаметру плями нагріву 12 мм існує зона впливу температури більше 500 °С, яка дорівнює всій товщині пластини і займає 7 мм довжини зразка.

Після охолодження 10 секунд для діаметру плями нагріву 12 мм існує зона впливу температури більше 340 °С, яка дорівнює всій товщині пластини і займає 10 мм довжини зразка.

Для зручності аналізу полів температур побудові епюри розподілу температур по шляхам 1-1, 2-2, 3-3, 4-4, 5-5 та 6-6, відповідно рис.3.8, рис.3.9, рис.3.10, рис.3.11, рис.3.12, рис.3.13.

					КР.131.6121м.05.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

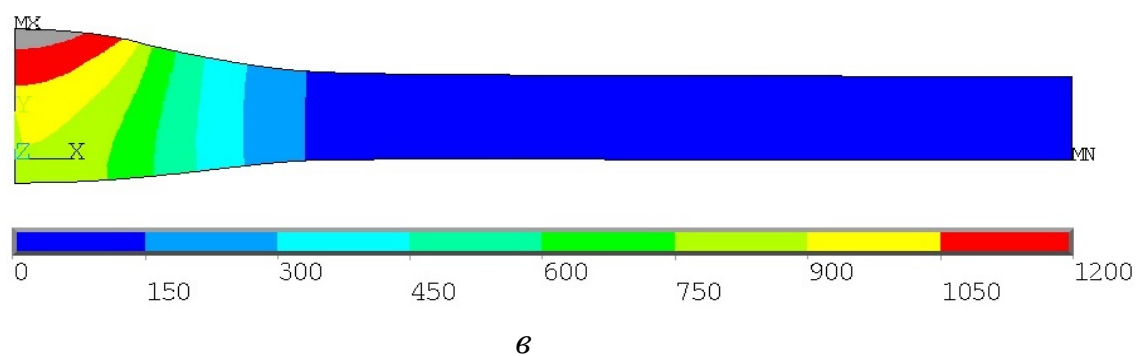
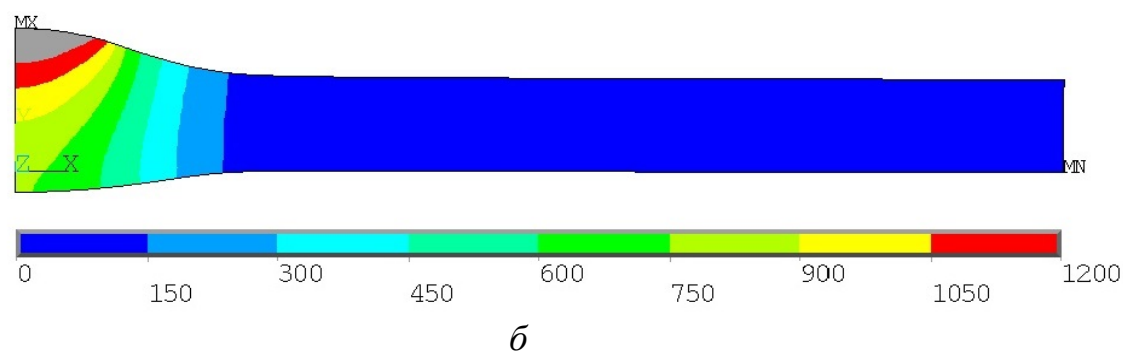
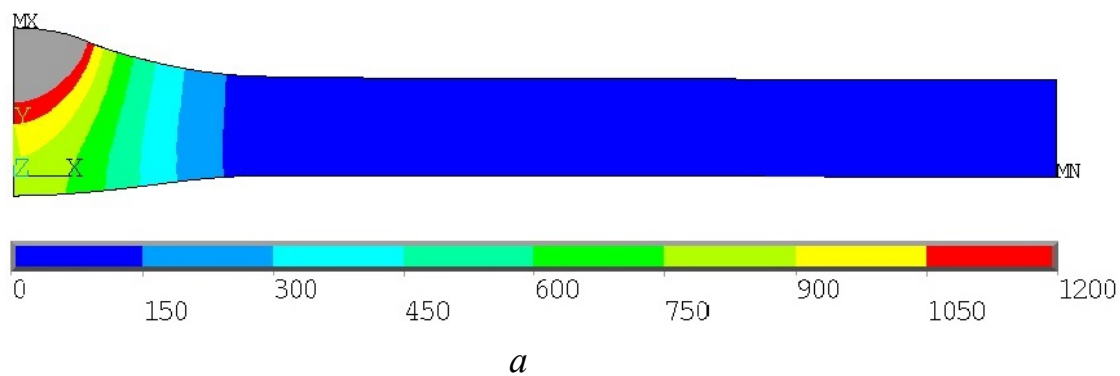


Рис. 3.5. Поля розподілу температур ($^{\circ}\text{C}$) по закінченні дії джерела нагрівання: а- діаметр плями нагріву - 6 мм, б-діаметр плями нагріву - 9 мм і в-діаметр плями нагріву - 12 мм

					КР.131.6121м.05.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

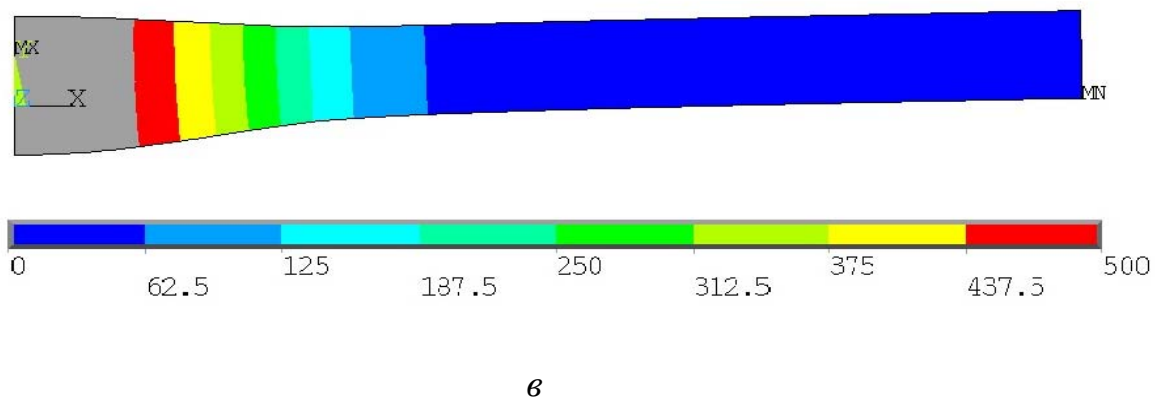
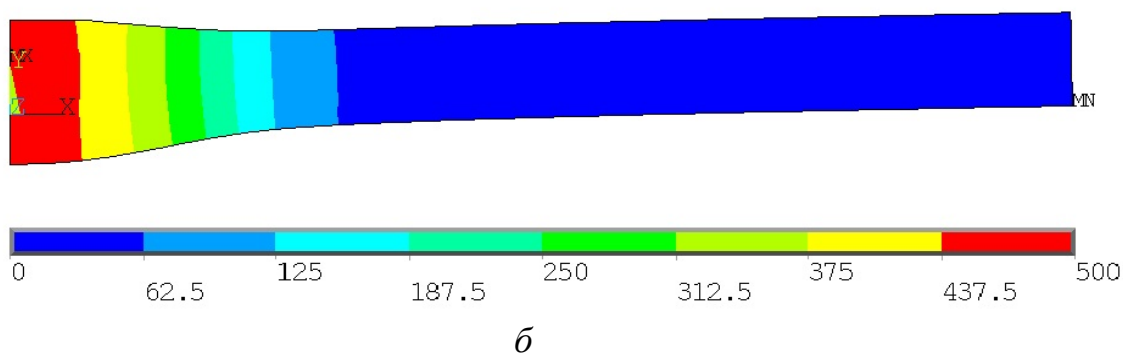
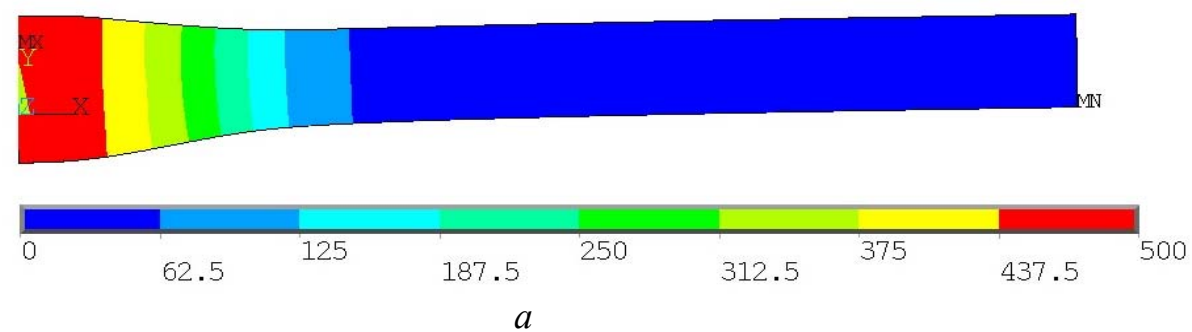
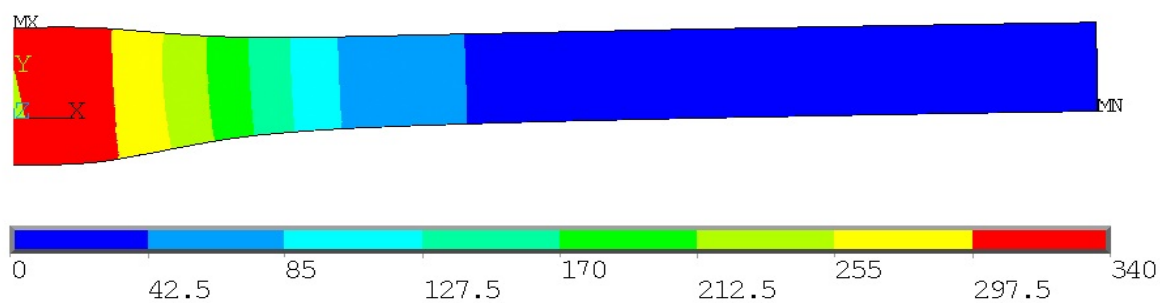
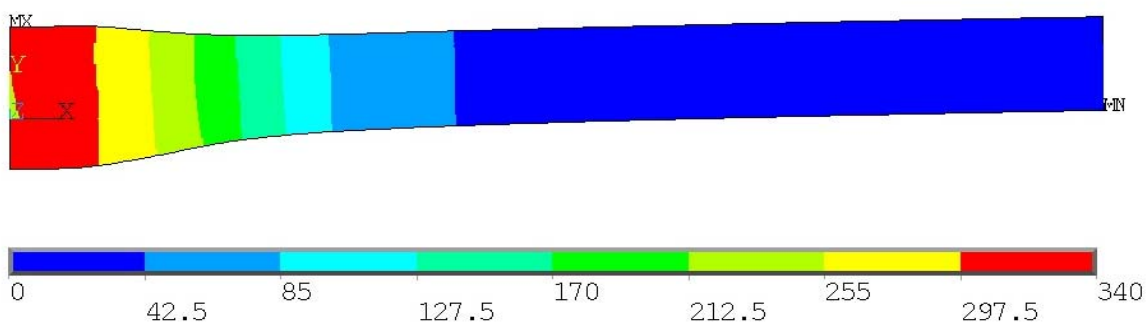


Рис. 3.6. Поля розподілу температур (°C), охолодження 5 секунд: а- діаметр плями нагріву - 6 мм, б- діаметр плями нагріву - 9 мм та в- діаметр плями нагріву - 12 мм.

					КР.131.6121м.05.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



a



б

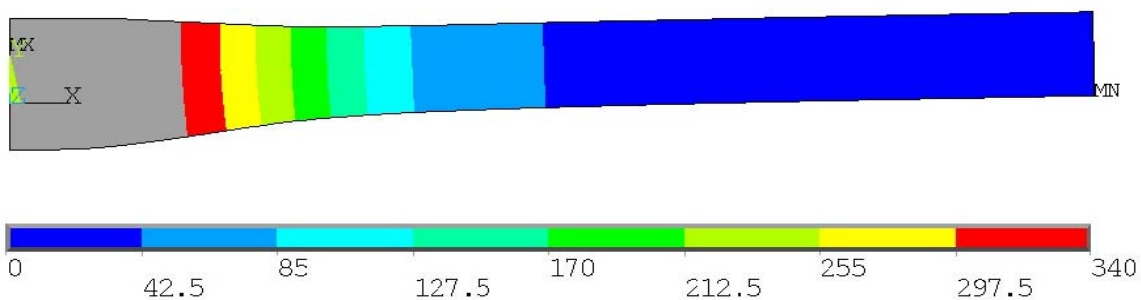


Рис. 3.7. Поля розподілу температур ($^{\circ}\text{C}$), охолодження 10 секунд: а- діаметр плями нагріву - 6 мм, б- діаметр плями нагріву - 9 мм та в- діаметр плями нагріву - 12 мм

					КР.131.6121м.05.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

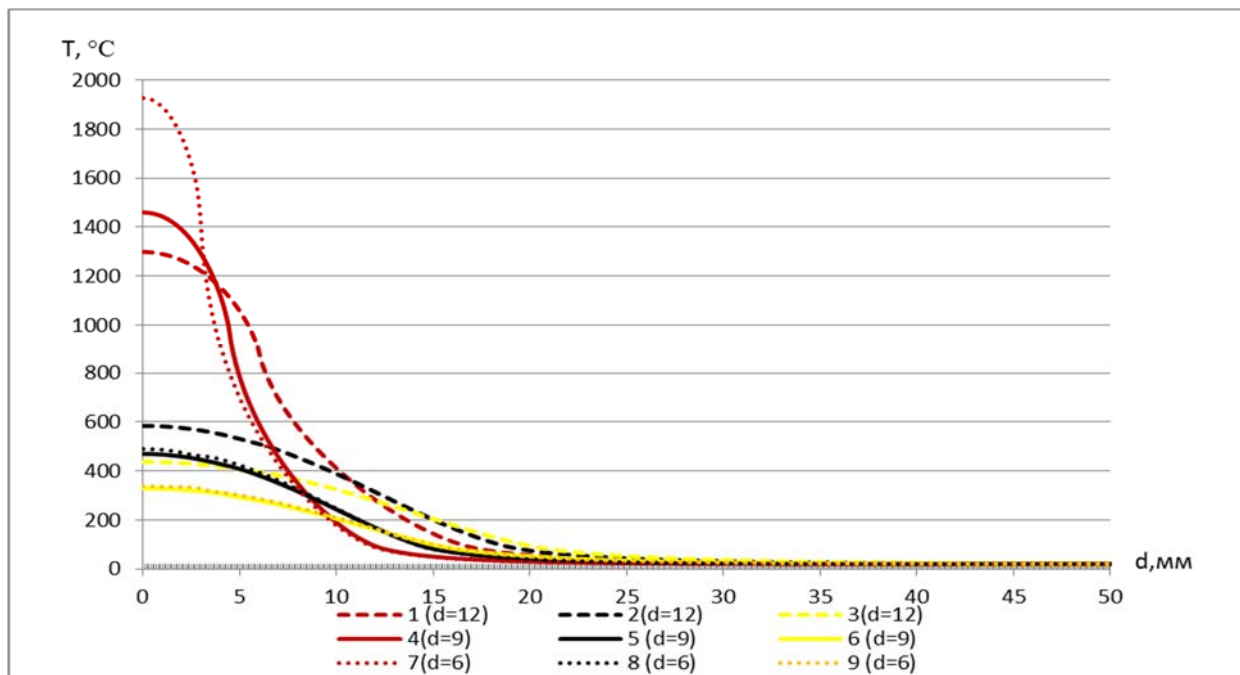


Рис.3.8. Епюри розподілу температур по шляху 1–1 для діаметрів 6, 9 та 12 мм: — після закінчення нагріву, — охолодження 5 секунд, — охолодження 10 секунд.

При локальному нагріві жароміцних нікелевих сплавів нас, цікавлять зони, в яких відбуваються структурні перетворення цих сплавів. У таблицях 3.3 та 3.4 наведено розміри ширини зон інтервалів температур.

Таблиця 3.3. Ширина зон інтервалів температур (шлях 1-1), мм

Діаметр плями нагріву, мм	6	9	12
Температурний інтервал °C			
>1200	6,4	7,2	6,8
1050-1200	7	8,6	10
800-1050	8,8	9,8	12,3

Аналіз епюр розподілу температур (шлях 1-1) показав, що після закінчення дії джерела нагріву максимальна температура складає 1700-1900 °C при діаметрі плями нагріву 6 мм. Зона максимальної температури зосереджена в зоні дії джерела нагріву, з ростом діаметру плями нагріву максимальна температура знижується до 1100-1300 °C. При цьому, ширина

зони температура якої перевищує 600 °С, дорівнює 6 мм при діаметрі плями нагріву 6 та 9 мм, при діаметрі 12 мм ширина складає 8 мм.

Після 10 секунд охолодження максимальна температура знижується та складає 300-320 °С при діаметрі джерела нагріву 6 та 9 мм. З ростом діаметра плями нагріву до 12 мм температура складає 420 °С.

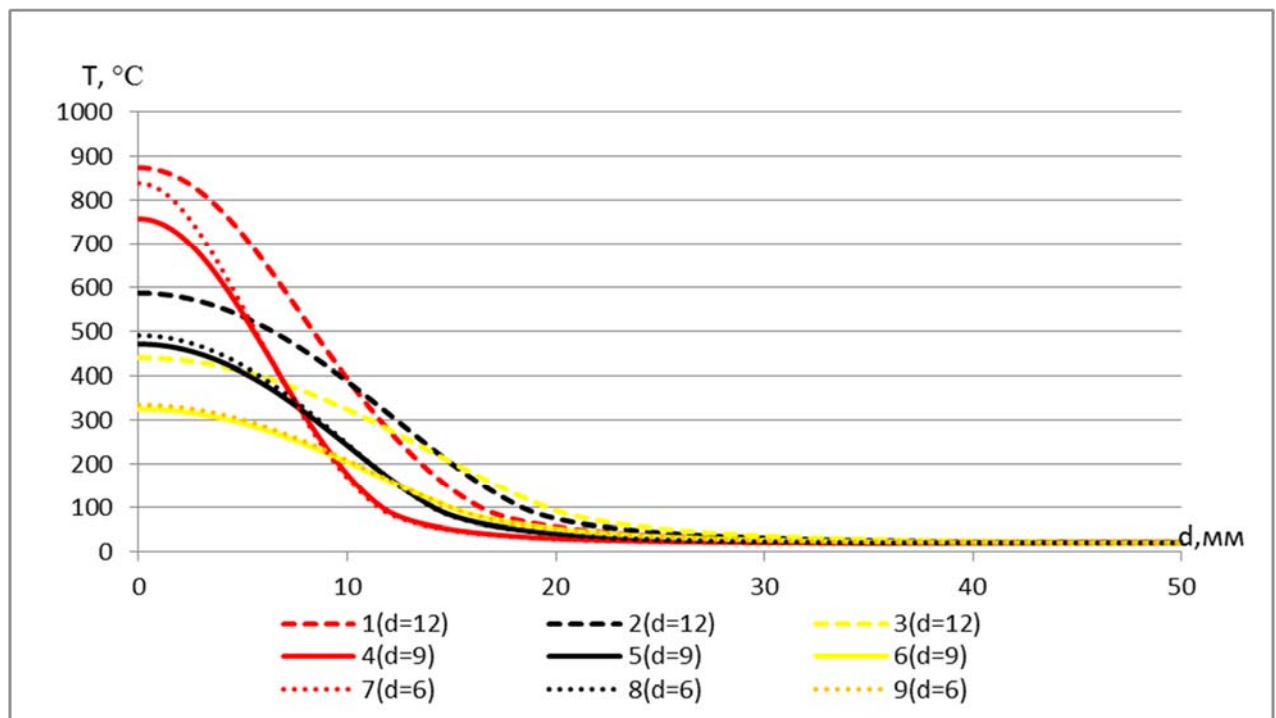


Рис.3.9. Епюри розподілу температур по шляху 2–2 для діаметрів 6, 9, 12 мм: — після закінчення нагріву, — охолодження 5 секунд; — охолодження 10 секунд.

На поверхні, яка знаходиться знизу диску (шлях 2-2) характер розподілу температури аналогічний, характеру розподілу шлях 1-1. Після нагріву максимальна температура складає 700–900 °С. При цьому при збільшенні діаметру плями нагріву температура зростає.

Після 5 секунд охолодження максимальна температура знижується та складає 600 °С при діаметрі джерела нагріву 12 мм. При діаметрі 6 та 9 мм температура майже однакова і складає 500 °С.

Таблиця 3.4. Ширина зон інтервалів температур (шлях 2-2), мм

Діаметр плями нагріву, мм Температурний інтервал °C	6	9	12
>800	4,6	9	6
600-800	8	8	9
400-600	11	12,8	13,2

Після 10 секунд охолодження максимальна температура знижується та складає 350 °C при діаметрі джерела нагріву 6 та 9 мм. З ростом діаметра плями нагріву до 12 мм температура складає 450 °C.

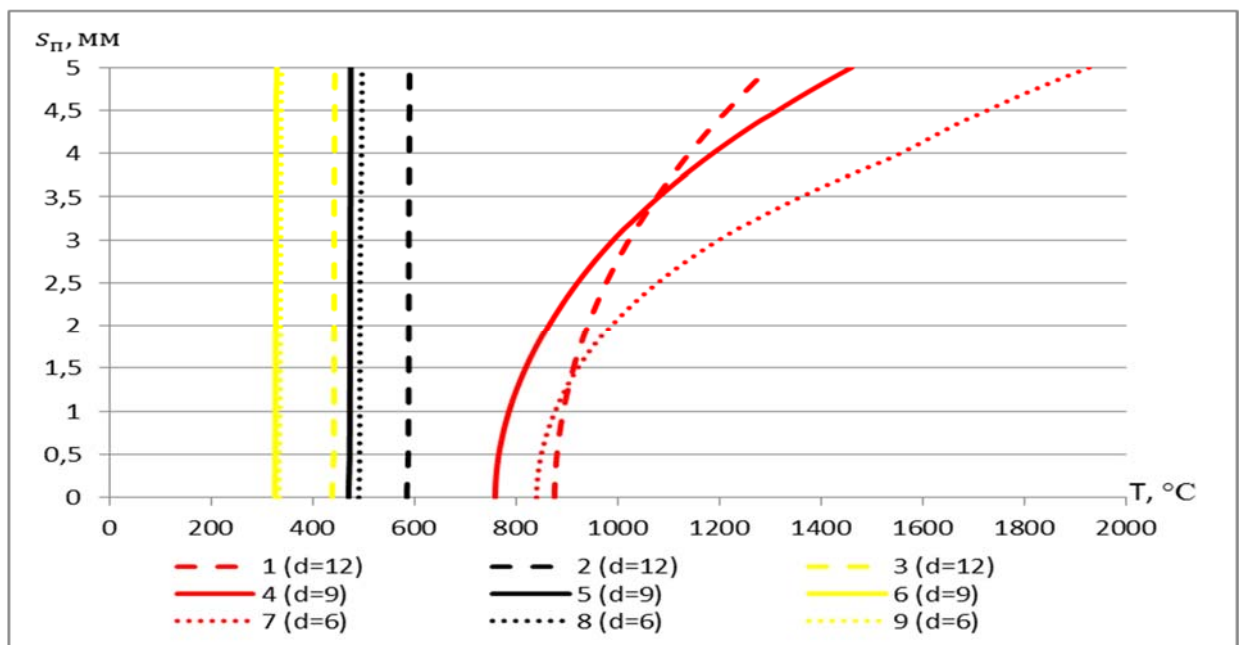


Рис.3.10. Епюри розподілу температур по шляху 3-3 для діаметрів 6, 9, 12 мм: — після закінчення нагріву, — охолодження 5 секунд; — охолодження 10 секунд.

На поверхні, яка знаходить на осі симетрії перпендикулярно шляху 1-1 (шлях 3-3) аналіз епюр температур показав, що після дії джерела нагріву максимальна температура складає 1900 °C при діаметрі плями нагріву 6 мм.

Ширина зони температура якої перевищує 1000 °C, дорівнює 7 мм при діаметри плями нагріву 9 та 12 мм, при діаметри 6 мм ширина складає 5 мм.

Після охолодження 5 секунд максимальна температура знижується та складає 600°C при діаметрі джерела нагріву 12 мм. Зі зниженням діаметра плями нагріву до 6 мм температура складає 450 °C.

Після охолодження 10 секунд максимальна температура знижується та складає 450°C при діаметрі джерела нагріву 12 мм. Зі зниженням діаметра плями нагріву до 9 та 6 мм температура складає 350 °C.

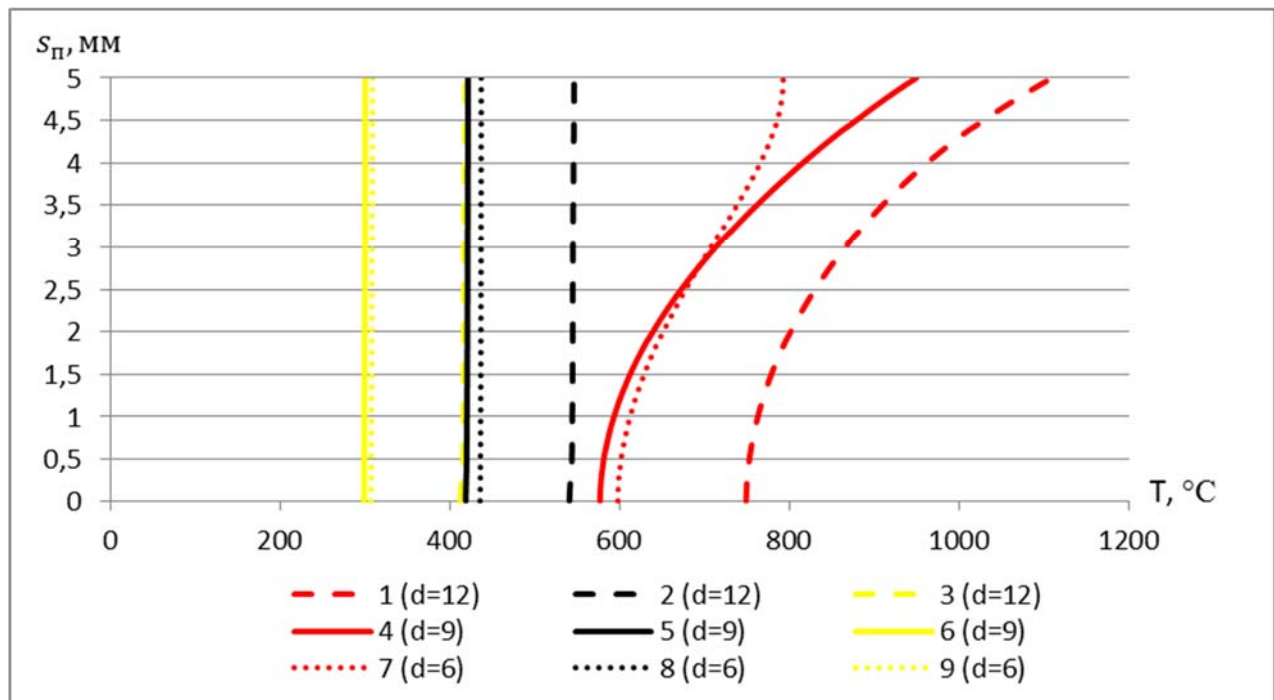


Рис.3.11. Епюри розподілу температур по шляху 4–4 для діаметрів 6, 9, 12 мм: — після закінчення нагріву, — охолодження 5 секунд; — охолодження 10 секунд.

Аналіз епюр розподілу температур (шлях 4-4) показав, що після закінчення дії джерела нагріву максимальна температура складає 1000-1100°C для діаметру плями нагріву 12 мм.

Зі зниженням діаметру плями нагріву максимальна температура знижується та при діаметрі 6 мм складає 600 °C.

Після охолодження 5 секунд максимальна температура знижується та складає 550 °С при діаметрі джерела нагріву 12 мм. Зі зниженням діаметра плями нагріву до 6 мм температура складає 400 °С.

Після охолодження 10 секунд максимальна температура знижується та складає 300 °С для діаметрів джерела нагріву 12 мм, 9 мм та 6 мм.

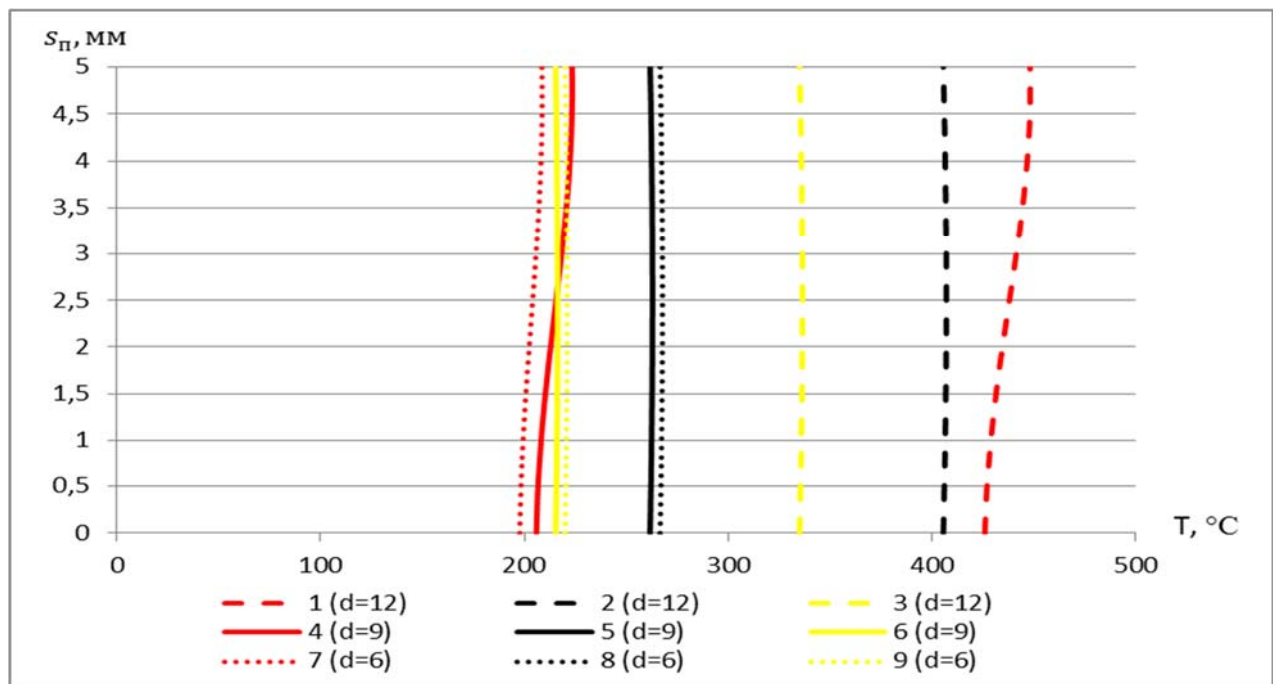


Рис.3.12. Епюри розподілу температур по шляху 5–5 для діаметрів 6, 9, 12 мм: — після закінчення нагріву, — охолодження 5 секунд; — охолодження 10 секунд.

Аналіз епюр розподілу температур (шлях 5-5) показав, що після закінчення дії джерела нагріву температури більш рівномірно розподіленні, максимальна температура складає 420 °С для діаметру плями нагріву 12 мм. Зі зниженням діаметру плями нагріву температура знижується та складає для діаметрів 6 та 9 мм – 200 °С.

Після охолодження 5 секунд максимальна температура складає приблизно 400 °С для діаметру плями нагріву 12 мм. Зі зниженням діаметру плями нагріву температура знижується та складає для діаметрів 6 та 9 мм – 280 °С.

Після охолодження 10 секунд максимальна температура складає приблизно 330 °С для діаметру плями нагріву 12 мм. Зі зниженням діаметру плями нагріву температура знижується та складає для діаметрів 6 та 9 мм – 220 °С.

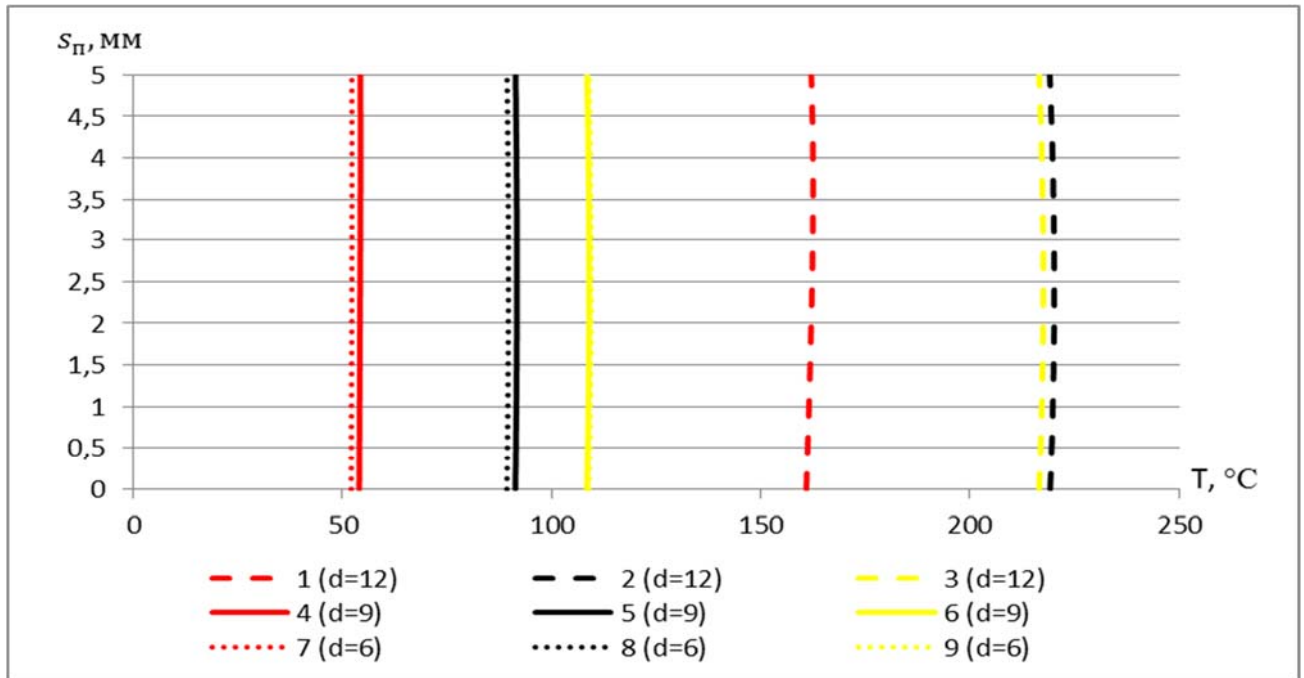


Рис.3.13. Епюри розподілу температур по шляху 6–6 для діаметрів 6, 9, 12 мм: — після закінчення нагріву, — охолодження 5 секунд; — охолодження 10 секунд.

Аналіз епюр розподілу температур (шлях 6-6) показав, що після закінчення джерела нагріву лінії температур рівномірно розподілені по всій товщині пластини. Чим далі від джерела нагріву, тим поле розподілу температур вирівнюється. Відбувається відсутність перепаду між верхній і нижній границі кромки. Після закінчення нагріву максимально температура складає 170 °С. для діаметру плями нагріву 12 мм. Зі зниженням діаметру плями нагріву максимальна температура знижується та складає 50 °С для діаметрів плями нагріву 6 та 9 мм.

Після охолодження 5 та 10 секунд максимальна температура складає 250 °С при діаметру плями нагріву 12 мм. Зі зниженням діаметру плями нагріву температура знижується та складає 90 -110 °С для діаметрів 6 та 9 мм.

					КР.131.6121м.05.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3. Аналіз термічних циклів

Для аналізу ліній нагріву та охолодження, були побудовані термічні цикли для діаметрів плями нагріву 6, 9 та 12 мм. На рис. 3.14. представлена схема розміщення точок на пластині для побудови графіків термічних циклів. Точки від 1 до 6 розташовані на верхній поверхні зразка; точки від 7 до 12 розташовані посередині зразка; точки від 13 до 18 розташовані на нижній поверхні зразка.

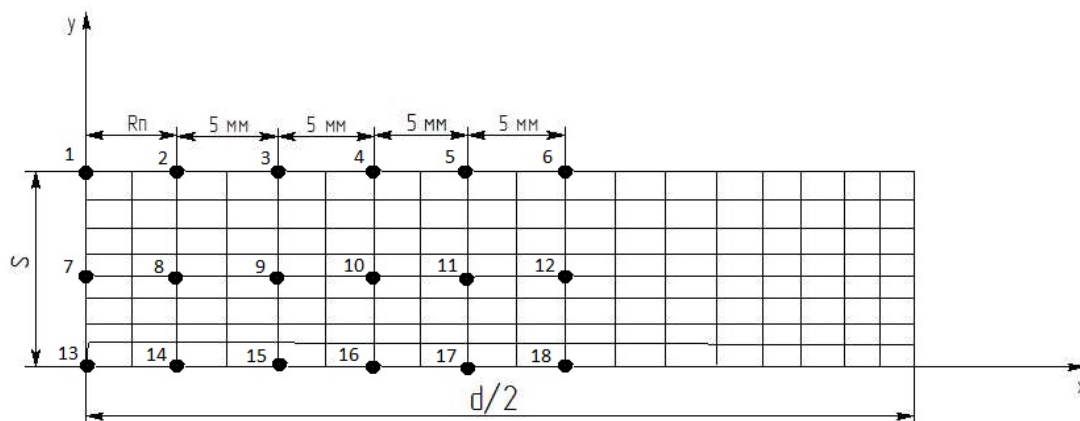


Рис.3.14. Схема розміщення точок

На рис.3.15 зображено термічний цикл в точці 1 (рис.3.14) для діаметрів плями нагріву 6, 9 та 12 мм.

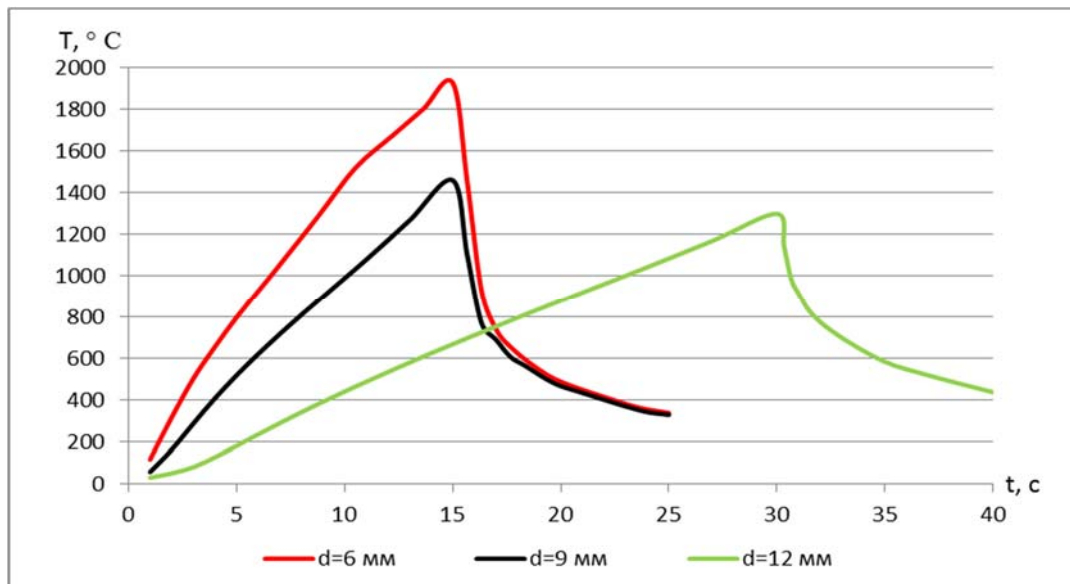


Рис.3.15. Термічний цикл в точці 1 (рис.3.14) для діаметрів плями нагріву 6, 9 та 12 мм

					КР.131.6121м.05.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналіз термічних циклів показав, що максимальна температура в точці 1 для діаметру 6 мм дорівнює 1900°C , швидкість нагріву складає 140°C/s . Після закінчення нагрівання, температура знижується до 800°C зі швидкістю охолодження 550°C/s . При подальшому охолодженні швидкість охолодження знижується зі швидкістю охолодження 67°C/s до температури 400°C .

Для діаметру плями нагріву 9 мм в точці 1 максимальна температура нагрівається 1450°C зі швидкістю нагрівання 108°C/s . Після закінчення нагрівання, температура знижується до 800°C зі швидкістю охолодження 375°C/s . При подальшому охолодженні швидкість охолодження знижується зі швидкістю охолодження 50°C/s до температури 400°C .

Аналіз термічних циклів показав, що максимальна температура в точці 1 для діаметру 12 мм дорівнює 1100°C , швидкість нагріву складає 40°C/s . Після закінчення нагрівання, температура знижується до 700°C зі швидкістю охолодження 133°C/s . При подальшому охолодженні швидкість охолодження знижується зі швидкістю охолодження 42°C/s до температури 400°C .

На рис. 3.16. зображено термічний цикл в точці 2 (рис.3.14) для діаметрів плями нагріву 6, 9 та 12 мм.

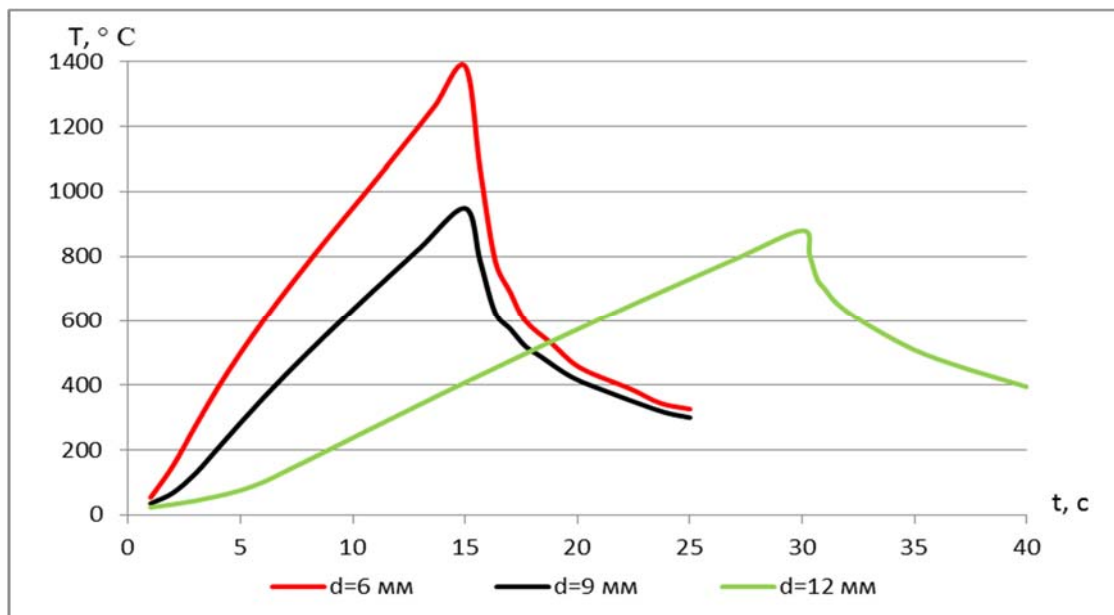


Рис.3.16. Термічний цикл в точці 2 (рис.3.14) для діаметрів плями нагріву 6, 9 та 12 мм

					КР.131.6121м.05.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналіз термічних циклів показав, що максимальна температура в точці 2 для діаметру 6 мм дорівнює $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$, швидкість нагріву складає $104\text{ }^{\circ}\text{C/s}$. Після закінчення нагрівання, температура знижується до $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ зі швидкістю охолодження $600\text{ }^{\circ}\text{C/s}$. При подальшому охолодженні швидкість охолодження знижується зі швидкістю охолодження $57\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ до температури $400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для діаметру плями нагріву 9 мм в точці 2 максимальна температура нагрівається $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ зі швидкістю нагрівання $65\text{ }^{\circ}\text{C/s}$. Після закінчення нагрівання, температура знижується до $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ зі швидкістю охолодження $300\text{ }^{\circ}\text{C/s}$. При подальшому охолодженні швидкість охолодження знижується зі швидкістю охолодження $28\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ до температури $400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Аналіз термічних циклів показав, що максимальна температура в точці 2 для діаметру 12 мм дорівнює $850\text{ }^{\circ}\text{C}$, швидкість нагріву складає $30\text{ }^{\circ}\text{C/s}$. Після закінчення нагрівання, температура знижується до $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ зі швидкістю охолодження $250\text{ }^{\circ}\text{C/s}$. При подальшому охолодженні швидкість охолодження знижується зі швидкістю охолодження $22\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ до температури $400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На рис. 3.17. зображено термічний цикл в точці 3 (рис.3.14) для діаметрів плями нагріву 6, 9 та 12 мм.

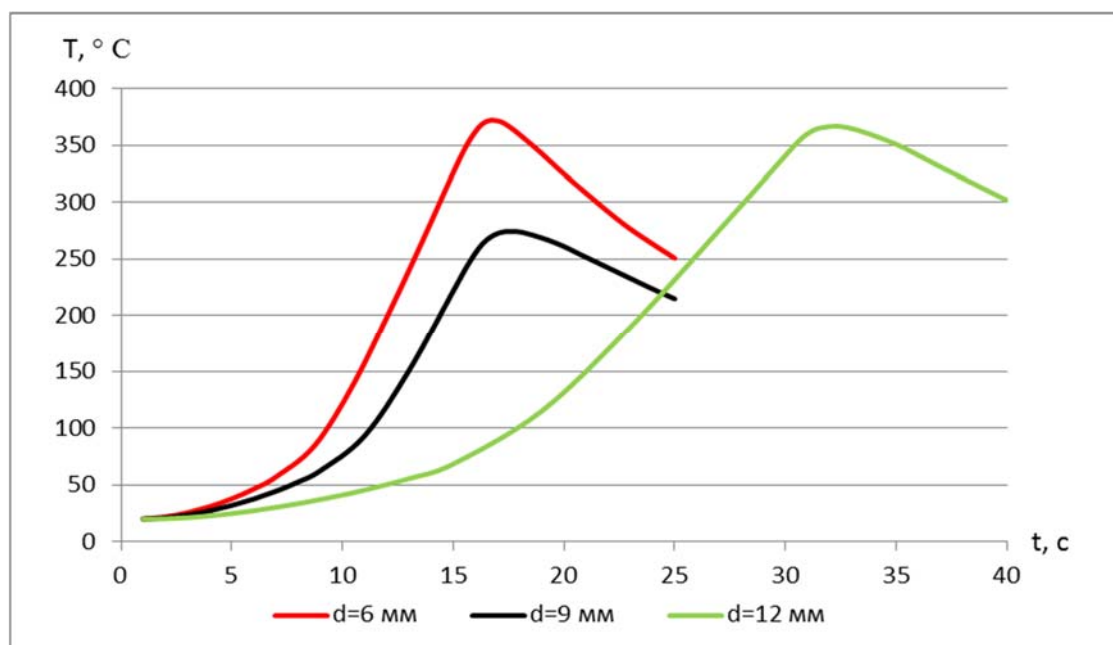


Рис.3.17.Термічний цикл в точці 3 (рис.3.14) для діаметрів плями нагріву 6, 9 та 12 мм

					КР.131.6121м.05.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналіз термічних циклів показав, що максимальна температура в точці 3 для діаметру 6 мм дорівнює 370 °С , швидкість нагріву складає 27 °С/с . Після закінчення нагрівання, температура знижується до 250°С зі швидкістю охолодження 12 °С/с.

Для діаметру плями нагріву 9 мм в точці 3 максимальна температура нагрівається 280°С зі швидкістю нагрівання 20°С/с. Після закінчення нагрівання, температура знижується до 210 °С зі швидкістю охолодження 7°С/с.

Аналіз термічних циклів показав, що максимальна температура в точці 3 для діаметру 12 мм дорівнює 360°С , швидкість нагріву складає 12 °С/с . Після закінчення нагрівання, температура знижується до 300 °С зі швидкістю охолодження 6 °С/с.

На рис. 3.18 -3.19 зображено діаграми залежності швидкості нагріву та охолодження від щільності теплового потоку.

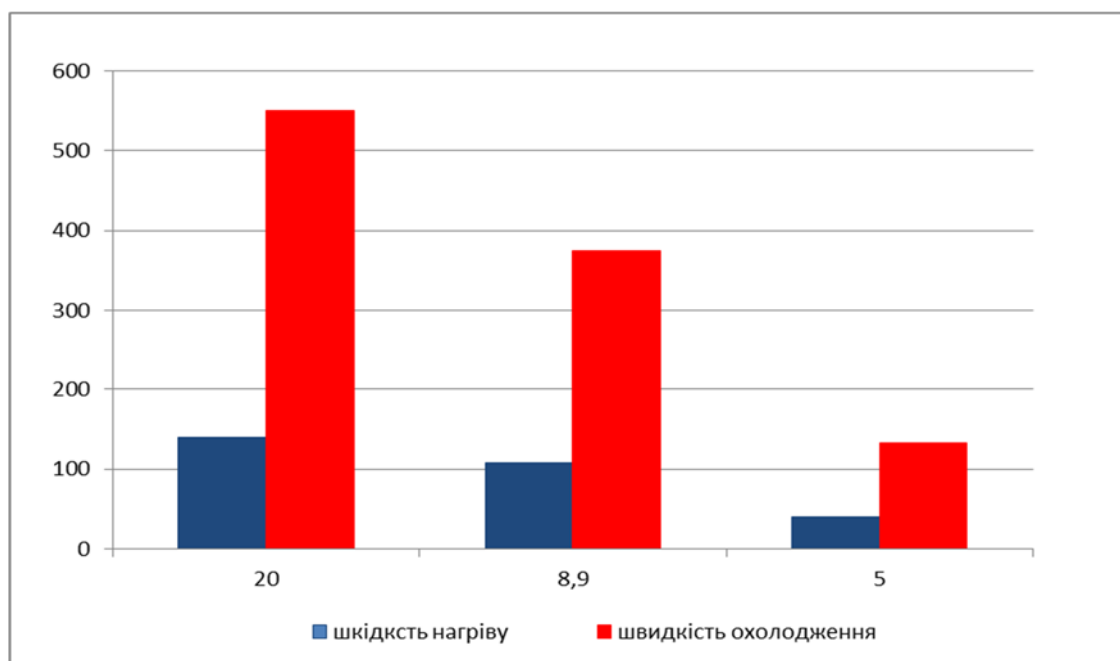


Рис. 3.18. Діаграму залежності швидкості нагріву та охолодження від щільності теплового потоку в т.1.

Зі збільшенням діаметру плями нагріву швидкість нагріву та охолодження зменшується.

					КР.131.6121м.05.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

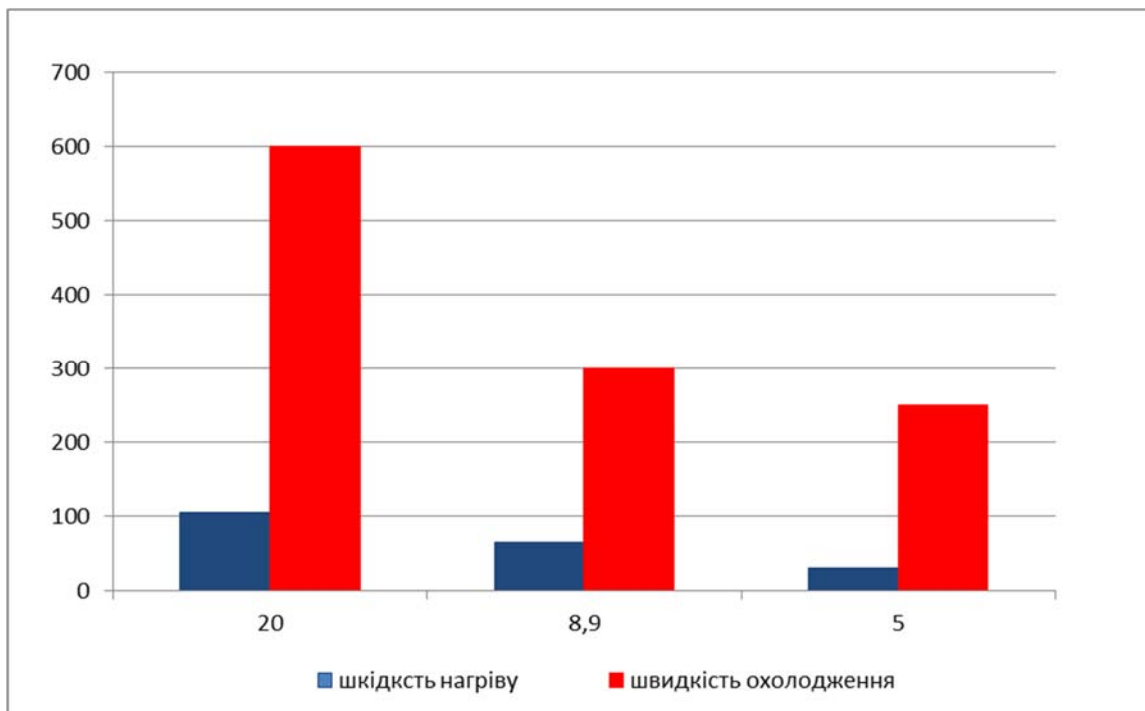


Рис. 3.19. Діаграму залежності швидкості нагріву та охолодження від щільності теплового потоку в т.2.

При зменшенні щільності теплового потоку, швидкість нагріву та охолодження знижується. Отже, аналіз літературних джерел показав (см.розділ 1), що за щільністю теплового потоку найбільш сприятливі умови гарантує джерело нагріву з ацетилено – кисневим полум'ям.

					КР.131.6121м.05.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

1. Моделювання полів температур проводилося із застосуванням методу скінченних елементів, при постійній потужності джерела нагрівання з різними діаметрами плями нагріву від 6 до 12 мм. При цьому зі збільшенням діаметра відбувалося зменшення щільності теплового потоку від 20 МВт/м² до 5 МВт/м². При складанні моделі враховувалися залежність коефіцієнта теплопровідності і ентальпії сплаву від температури.

2. Аналіз розподілу температур в моменти часу, після нагрівання і охолодження протягом 5 і 10 сек. показав, що при збільшенні плями нагріву (зменшення щільності теплового потоку) відбувається зниження максимальної температури і збільшення ширини зони температура якої перевищує 600°C.

3. Аналіз розподілу температур показав, що після закінчення дії джерела нагрівання максимальна температура становить 1700-1900 ° С при діаметрі плями нагріву 6 мм. Зона максимальних температур зосереджена в області джерела нагріву, з ростом діаметра плями нагріву, максимальна температура знижується до 1100-1300°C. При цьому, діаметр зони, температура якої перевищує 1200 ° С, не перевищує 7 мм. При 1050-1200 ° С - дорівнює 12 мм при діаметрі плями нагріву 6 і 9 мм, при діаметрі 12 мм діаметр становить 8 мм. Після 10 секунд охолодження максимальна температура знижується і становить 300-320 ° С при діаметрі джерела нагріву 6 і 9 мм. З ростом діаметра плями нагріву до 12 мм максимальна температура збільшується 420°C.

4. При локальному нагріві жароміцних сплавів необхідно прагнути до збільшення діаметра плями нагріву при незмінній потужності джерела. Це дозволяє знизити максимальну температуру і зменшити температурних градієнт. Це дає змогу створити більш сприятливі умови знаходження сплаву в температурному інтервалі крихкості.

					КР.131.6121м.05.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					КР.131.6121м.05.04.ПЗ								
Изм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
					Охорона праці					Лит.	Арку	Аркушів	
Студент	Андрієвський Д.О.												
Керівник	Лабарткава О.В.												
	.												
Зав.Кафед.	Драган С.В.												
					НУК ім. адмірала Макарова								

4. Охорона праці

Вступ

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності. Основне завдання охорони праці в умовах виробництва – це розробка й впровадження методів повної безпеки, без шкідливості й полегшення праці робітників.

Законодавство про охорону праці складається з цього Закону, Кодексу законів про працю України, Закону України "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності" та прийнятих відповідно до них нормативно – правових актів.

Закон визначає основні положення по реалізації конституційного права громадян по охороні праці, їхнього життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, реалізує при участі відповідних державних органів відношення між власником підприємства, закладу, організації або уповноваженими їм органами і робітником з питання про безпеку і гігієну праці, а також виробничого середовища, і впроваджує єдиний порядок організації охорони праці на Україні. Державна політика в галузі охорони праці базується на принципах пріоритету життя і здоров'я працівників над результатами виробництва, повної відповідальності власників підприємств за створення безпечних і нешкідливих умов праці [21].

Однією із характерних особливостей сучасного розвитку суспільства є зростання сфер діяльності людини, в яких використовуються інформаційні технології. Широке розповсюдження отримали персональні комп'ютери. Однак їх використання загостило проблеми збереження власного та суспільного здоров'я, вимагає удосконалення існуючих та розробки нових підходів до організації робочих місць, проведення профілактичних заходів

					КР.131.6121м.05.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для запобігання розвитку негативних наслідків впливу ПК на здоров'я користувачів.

Заходи з охорони праці користувачів ПК необхідно розглядати в трьох основних аспектах: соціальному, психологічному та медичному.

У соціальному плані розв'язання цих проблем пов'язане з оптимізацією умов життя, праці, відпочинку, харчування, побуту, розвитком культури, транспорту.

Значне місце у профілактиці розладів здоров'я належить психології праці. Тому заходи, пов'язані з формуванням раціональних гнотобічних колективів, у яких відсутня психологічна несумісність, сприяють зменшенню нервово-психічного перенапруження, підвищенню працездатності та ефективності праці.

Особливої значущості у користувачів відеодисплейних терміналів набуває психоемоційний стрес, який більшою або меншою мірою проявляється у кожного з них.

4.1 Загальні вимоги до техніки безпеки під час роботи за комп'ютером

Персонал, що працює на комп'ютері зобов'язаний дотримуватися вимог інструкції, розробленої на підставі Санітарних норм і правил СанПин 2.2.2.542-96 «Гігієнічні вимоги до відео дисплейним терміналам, персональним електровчислительним машин 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 поломку комп'ютера [22].

При організації праці, пов'язаної з використанням ВДТ, ЕОМ і ПЕОМ, для збереження здоров'я працюючих, запобігання професійним захворюванням і підтримки працездатності передбачаються внутрішньозмінні регламентовані перерви для відпочинку.

					КР.131.6121м.05.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Внутрішньозмінні режими праці і відпочинку містять додаткові нетривалі перерви в періоди, що передують появі об'єктивних і суб'єктивних ознак стомлення і зниження працездатності.

При роботі з комп'ютером шкідливими і небезпечними чинниками є:

- електростатичні поля;
- електромагнітне випромінювання;
- наявність потужних іонізуючих випромінювань;
- локальне стомлення, загальна втома;
- стомлюваність очей;
- небезпека ураження електричним струмом;
- пожежонебезпека.

При виконанні робіт, що належать до різних видів трудової діяльності, за основну роботу з ВДТ слід вважати таку, що займає не менше 50% робочого часу. Впродовж робочої зміни мають передбачатися:

- перерви для відпочинку і вживання їжі (обідні перерви);
- перерви для відпочинку і особистих потреб (згідно з трудовими нормами);
- додаткові перерви, що вводяться для окремих професій з урахуванням особливостей трудової діяльності.

За характером трудової діяльності розрізняють три професійні групи, згідно з діючим класифікатором професій (ДК-003-95 і Зміна N1 до ДК-003-95):

1. Розробники програм (інженери-програмісти) виконують роботу переважно з відеотерміналом та документацією при необхідності інтенсивного обміну інформацією з ЕОМ і високою частотою прийняття рішень. Робота характеризується інтенсивною розумовою творчою працею з підвищеним напруженням зору, концентрацією уваги на фоні нервово-емоційного напруження, вимушеною робочою позою, загальною гіподинамією, періодичним навантаженням на кисті верхніх кінцівок. Робота

					КР.131.6121м.05.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконується в режимі діалогу з ЕОМ у вільному темпі з періодичним пошуком помилок в умовах дефіциту часу;

2. Оператори електронно-обчислювальних машин виконують роботу, пов'язану з обліком інформації, одержаної з ВДТ за попереднім запитом, або тієї, що надходить з нього, супроводжується перервами різної тривалості, пов'язана з виконанням іншої роботи і характеризується напруженням зору, невеликими фізичними зусиллями, нервовим напруженням середнього ступеня та виконується у вільному темпі;

3. Оператор комп'ютерного набору виконує одноманітні за характером роботи з документацією та клавіатурою і нечастими нетривалими переключеннями погляду на екран дисплея, з введенням даних з високою швидкістю. Робота характеризується як фізична праця з підвищеним навантаженням на кисті верхніх кінцівок на фоні загальної гіподинамії з напруженням зору (фіксація зору переважно на документи), нервово-емоційним напруженням [21].

Правилами встановлюються такі внутрішньозмінні режими праці та відпочинку при роботі з ЕОМ при 8-годинній денній робочій зміні в залежності від характеру праці:

➤ для розробників програм із застосуванням ЕОМ слід призначати регламентовану перерву для відпочинку тривалістю 15 хвилин через кожну годину роботи за ВДТ;

➤ для операторів із застосуванням ЕОМ слід призначати регламентовані перерви для відпочинку тривалістю 15 хвилин через кожні дві години;

➤ для операторів комп'ютерного набору слід призначати регламентовані перерви для відпочинку тривалістю 10 хвилин після кожної години роботи за ВДТ.

У всіх випадках, коли виробничі обставини не дозволяють застосувати регламентовані перерви, тривалість безперервної роботи з ВДТ не повинна перевищувати 4 години.

					КР.131.6121м.05.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При 12-годинній робочій зміні регламентовані перерви повинні встановлюватися в перші 8 годин роботи аналогічно перервам при 8-годинній робочій зміні, а протягом останніх 4-х годин роботи, незалежно від характеру трудової діяльності, через кожну годину тривалістю 15 хвилин.

Для зниження нервово-емоційного напруження, втомлення зорового аналізатора, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втомі доцільно деякі перерви використовувати для виконання комплексу вправ, які наведені у Державних санітарних правилах і нормах роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПН 3.3.2.007-98.

4.2. Заходи, щодо зменшення впливу шкідливих виробничих факторів при експлуатації ЕОМ

При використанні компютера зазвичай завдає наступну шкоду здоров'ю людини: зорове навантаження, мікротравми, захворювання викликані повторюваними навантаженнями. При роботі на комп'ютері годинами для очей не буває необхідних фаз відпочинку, очі навантажуються, їх працездатність знижується. Велике навантаження орган зору відчуває при введенні інформації, так як користувач змушений часто переводити погляд з екрану та текст і клавіатуру, що знаходиться на різні відстані і при різному освітлені. Мікротварма – це поступовий знос організму в результаті щодених навантажень. Більшість порушень в організмі відбувається через накопичування мікротварм.

Для поліпшення умов праці при експлуатації ЕОМ необхідно забезпечити виконання всіх вимог, передбачених правилами охорони праці при експлуатації ЕОМ [23].

Нижче наведені основні вимоги та положення, взяті з основного джерела, що надає їх: “Правила охорони праці при експлуатації електронно-обчислювальних техніки”.

					КР.131.6121м.05.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальні вимоги.

➤ Робочі місця з відео терміналами або персональними ЕОМ у приміщеннях з джерелами шкідливих виробничих факторів повинні розташовуватися в ізольованих кабінах з обладнанням повітрообміном. У кабіні мусить бути оглядове вікно. Висота оглядового вікна має бути не меншою 1,5 м, а відстань від підлоги не більше 0,8 м.

➤ Площа приміщень, в яких розташовують відео термінали, визначають відповідно до діючих нормативних документів з розрахунку на одне робоче місце, обладнене відео терміналом: площа – 6 м², об'єм - 20 м³ з урахуванням максимальної кількості осіб, які одночасно працюють у зміні.

➤ Яскравість світильників загального освітлення в зоні кутів випромінювання від 50 град до 90 град, відносної вертикалі в подовжній і поперечній площинах повинна складати не більше 200 кд/м², а захисний кут світильників повинен бути не більше 40 град.

➤ Електроприлади повинні бути заземлені, а їх частини, що рухаються захищені кожухами.

➤ В приміщенні, де одночасно експлуатується або обслуговується більше п'яти персональних ЕОМ, на видному доступному місці встановлюється аварійний резервний вимикач, який може цілком відключити електричне живлення.

➤ Застосування профілактичних методів зменшення втоми при роботі за компютером: правильна осанка, зорова профілактика, економічне апаратне обладнання.

Поліпшення умов праці, підвищення його безпеки впливають на результати виробництва – на продуктивність праці, якість і собівартість продукції, що випускається.

4.3 Розрахунок загального освітлення науково - дослідної лабораторії.

Штучне освітлення приміщень буває загальним і комбінованим.

					КР.131.6121м.05.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальне освітлення може бути з рівномірним розподілом світлового потоку без урахування розташування обладнання і локалізованим з урахуванням розміщення робочих місць.

Комбіноване – це поєднання загального і місцевого освітлення. Система загального освітлення дає рівномірне світло у всьому приміщенні. За комбінованого освітлення на частку загального освітлення припадає 10 %, але не менше 100 лк при люмінесцентних лампах і 30 лк при лампах розжарювання, а найбільше світла дають лампи місцевого освітлення.

Штучне освітлення буває робоче, аварійне, охоронне, евакуаційне та чергове. Влаштування робочого освітлення обов'язкове в усіх приміщеннях і на освітлюваних територіях, вулицях для забезпечення нормальної роботи, проходу людей і руху транспортних засобів під час відсутності або нестачі природного освітлення. Світловий потік відображає кількість енергії, яка проходить через деяку площу та вимірюється в люменах.

Приклад розрахунку штучного освітлення в дипломному проектуванні. [22].

Довжина $A = 12,5$ м, ширина $B = 10,5$ м, висота $H = 3$ м. Висота робочої поверхні $h_p = 1$ м. Побілена стеля, побілені стіни з незавішеними вікнами. Світла розрахункова поверхня. Напруга мережі 220 В. Розрахунок виконати для ламп розжарювання і люмінесцентних ламп.

Розрахунок для ламп розжарювання

Обираємо тип світильника Астра

Відстань від стелі до робочої поверхні

$$H_o = H - h_p = 3 - 1 = 2 \text{ м.}$$

Відстань від стелі до світильника

$$h_c = 0,2 \cdot H_o = 0,2 \cdot 2 = 0,4 \text{ м.}$$

Висота підвішування світильника над освітлюваною поверхнею

$$h = H_o - h_c = 2 - 0,4 = 1,6 \text{ м.}$$

Висота підвішування світильника над підлогою

$$H_n = h + h_p = 1,6 + 1 = 2,6 \text{ м}$$

					КР.131.6121м.05.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для досягнення найбільшої рівномірності освітлення приймаємо відношення

$$L/h = 1,7$$

Тоді відстань між центром світильників

$$L = 1,7 \cdot h = 1,7 \cdot 1,6 = 2,72 \text{ м.}$$

Необхідна кількість світильників

$$N = \frac{S}{L^2} = \frac{A \cdot B}{L^2} = \frac{12,5 \cdot 10,5}{2,72^2} \approx 18$$

Знаходимо необхідне число рядів

$$n_p = \frac{B}{L} = \frac{10,5}{2,72} = 3,86 \approx 4$$

Приймаємо 4 рядів, тобто відстань 3

$$3 \cdot L = 3 \cdot 2,72 = 8,16$$

Знаходимо кількість світильників в одному ряді

$$\frac{A}{L} = \frac{12,5}{2,72} = 4,6 \approx 5$$

Приймаємо 5 світильників, тобто відстань 4

$$4 \cdot L = 4 \cdot 2,72 = 10,88 < A = 12,5 \text{ м}$$

Приймаємо 20 світильники, 4 ряди по 5 штук.

Відстань від стіни до центра світильника

$$l = (0,25 \dots 0,3) \cdot L = 0,3 \cdot 2,72 \approx 0,7 \text{ м}$$

Відстань при розміщенні робочих місць вздовж стіни

$$l = (0,4 \dots 0,5) \cdot L = 0,4 \cdot 2,72 \approx 1,1 \text{ м}$$

При розміщенні віддалених робочих місць від стіни

$$\frac{10,5 - 8,16}{2} = 1,1$$

$$\frac{12,5 - 10,88}{2} = 0,8$$

Знаходимо світловий потік однієї лампи

$$\Phi = \frac{E_{min} \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 131,25 \cdot 1,3 \cdot 1,15}{12 \cdot 0,66} = 7432$$

					КР.131.6121м.05.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $E_{\min}$ – рівень мінімальної освітленості за нормами, лк; S – освітлювана площа приміщення, м²; K_z – коефіцієнт запасу; Z – коефіцієнт мінімальної освітленості; N – число світильників; η – коефіцієнт використання світлового потоку ламп, встановлених у світильнику. $K_z = 1,3$; $Z = 1,15$ для ламп розжарювання [23].

Індекс приміщення

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)} = \frac{12,5 \cdot 10,5}{1,8(12,5 + 10,5)} = 3$$

$i = 3$; $\rho_{\text{п}} = 70 \%$; $\rho_{\text{с}} = 50 \%$; $\rho_{\text{р}} = 10 \%$ для світильника типу УПМ-15 коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 0,66$. Обираємо лампу потужністю 225 Вт, що має світловий потік 8300 лм, найбільш близький до розрахункового.

При цьому фактична освітленість

$$E_{\text{ф}} = E_{\text{н}} \cdot \frac{\Phi_{\text{л}}}{\Phi_{\text{р}}} = 300 \cdot \frac{8300}{7432} = 330$$

Загальна потужність освітлювальної установки

$$P_z = P_{\text{л}} \cdot N = 300 \cdot 18 = 5,4 \text{ кВт}$$

Розрахунок для люмінесцентних ламп

Обираємо тип світильника ЛПО

Відстань від стелі до робочої поверхні

$$H_o = H - h_{\text{р}} = 3 - 1 = 2 \text{ м.}$$

Відстань від стелі до світильника

$$h_{\text{с}} = 0,1 \text{ м.}$$

Висота підвішування світильника над освітлюваною поверхнею

$$h = H_o - h_{\text{с}} = 2 - 0,1 = 1,9 \text{ м.}$$

Висота підвішування світильника над підлогою

$$H_n = h + h_{\text{р}} = 1,9 + 1 = 2,9 \text{ м}$$

Для досягнення найбільшої рівномірності освітлення приймаємо відношення

$$L/h = 1,45$$

Тоді відстань між центром світильників

$$L = 1,4 \cdot h = 1,45 \cdot 1,9 = 2,75 \text{ м.}$$

					КР.131.6121м.05.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Необхідна кількість світильників

$$N = \frac{S}{L^2} = \frac{A \cdot B}{L^2} = \frac{12,5 \cdot 10,5}{2,75^2} = 18$$

Знаходимо необхідне число рядів

$$n_p = \frac{B}{L} = \frac{10,5}{2,75} = 3,8 \approx 4$$

Приймаємо по 4 рядів, тобто відстань 3

$$3 \cdot L = 3 \cdot 2,75 = 8,2$$

Знаходимо кількість світильників в одному ряді

$$\frac{A}{L} = \frac{12,5}{2,75} = 4,53$$

Приймаємо 5 світильників, тобто відстань 4

$$4 \cdot L = 4 \cdot 2,75 = 11 < A = 12,5 \text{ м}$$

Приймаємо 20 світильники, 4 ряди по 5 штук.

Відстань від стіни до центра світильника

$$l = (0,25 \dots 0,3) \cdot L = 0,25 \cdot 2,75 \approx 0,7 \text{ м}$$

Відстань при розміщенні робочих місць вздовж стіни

$$l = (0,4 \dots 0,5) \cdot L = 0,4 \cdot 2,75 \approx 1,1 \text{ м}$$

При розміщенні віддалених робочих місць від стіни

$$\frac{10,5 - 8,2}{2} = 1,1$$
$$\frac{12,5 - 11}{2} = 0,7$$

Знаходимо світловий потік однієї лампи

$$\Phi = \frac{E_{min} \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta \cdot n} = \frac{300 \cdot 84 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{20 \cdot 0,55 \cdot 2} = 1890$$

Індекс приміщення

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)} = \frac{12,5 \cdot 10,5}{1,9(12,5 + 10,5)} = 3$$

$i = 3$; $\rho_{\text{п}} = 70 \%$; $\rho_{\text{с}} = 50 \%$; $\rho_{\text{р}} = 10 \%$ для світильника типу ЛПО 02-4х40

коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 0,55$. Вибираємо лампу

					КР.131.6121м.05.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потужністю 30 Вт, що має світловий потік 2020 лм, найбільш близький до розрахункового.

При цьому фактична освітленість

$$E_{\phi} = E_n \cdot \frac{\Phi_l}{\Phi_p} = 30 \cdot \frac{2020}{1890} = 32$$

Загальна потужність освітлювальної установки

$$P_z = P_l \cdot N \cdot n = 30 \cdot 20 \cdot 2 = 1,2 \text{ В}$$

Отже, як показали розрахунки люмінесцентні лампи в 4,5 рази економічнішим лампи розжарювання.

4.4. Заходи щодо зменшення шкідливого впливу на здоров'я та працездатність

Слід урахувати ступінь впливу ряду фізичних факторів електромагнітної природи, в першу чергу таких як мікрохвильове, радіочастотне, ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання, напруженість електричного поля між екраном та користувачем ЕОМ [24].

Робоче місце повинно бути досить просторим, ясным, тихим, з доброю вентиляцією, зі сприятливими умовами мікроклімату в усі сезони року.

Приведемо об'єктивні показники необхідних умов праці у приміщенні: мікроклімат (оптимальний), що включає такі показники як температура, вологість, рух повітря. Температура приміщення повинна дорівнювати +21 – 22 °С, вологість повітря має бути в межах 50 – 65 %, швидкість руху повітря - до 0,1 – 0,15 м/год. Загальне освітлення при роботі з комп'ютером повинно сягати 500 – 600 лк. Допустима рівномірна інтенсивність шуму оптимальна до 30 – 40 дБа, гранична – до 50 – 60 дБа.

4.5 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів у зварювальному цеху при виконання наплавочних робіт.

Виконання зварювання як і другої іншої технологічної операції

					КР.131.6121м.05.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пов'язано з експлуатацією обладнання й використанням речовин, які при невмілому поводженні можуть призвести до отримання ушкоджень і травм, привести до аварійних ситуацій, стати джерелом забруднення навколишнього простору навколишнього середовища.

Розглянемо найбільш важливі небезпечні та шкідливі фактори, які визивають зварювальні роботи.

Електричний струм. Небезпека ураження електричним струмом виникає при роботі з електричним обладнанням у випадку замкнення чоловічим тілом дротів, які знаходяться під напругою, частин обладнання. Ураження людини електричним струмом (часове позбавлення рухливості, мови, поверхові опіки, смерть) виникає при проходженні через організм струмом 0,05 А. Опір тіла людини постійний: при сухій шкірі 8000-20000 Ом, тому небезпечна напруга буде 400-1000В. При вологому одязі опір 400-1000Ом, а небезпечна напруга 20-100В, опір знижується ще більше при алкогольному сп'янінні. Особливо небезпечне ураження при виконанні зварювання в тісних приміщеннях, лежачому положенні.

Пожежі. Пожежі можливі при зварюванні у місцях непристосованих для таких робіт. Причиною пожежі можуть стати бризки розплавленого металу, відкритий вогонь газового полум'я.

Травми – удари, вивихи, переломи пов'язані з порушенням правил транспортування і кантування важких металевих виробів деталей, вузлів.

Опромінення – ультрафіолетовими променями дуги відкритих ділянок тіла, особливо очей, при тривалості 15-20с в радіусі менш ніж 1м від дуги при зварюванні відкритою дугою, викликає опіки подібні сонячним. Періодичні опіки очей призводять до зниження якості зору. Особливо це небезпечно при зварювання в захисних газах: вуглекислий газ і аргон важче повітря в 1,4-1,5 рази, тому в приміщенні де виконується зварювання в захисних необхідна додаткова вентиляція повітря.

					КР.131.6121м.05.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Освітлення

Недостатність освітлення приводить до напруги зору, ослабляє увагу, приводить до настання передчасної стомленості. Надмірно яскраве освітлення викликає засліплення, роздратування і різь в очах. Неправильний напрям світла на робочому місці може створювати різкі тіні, відблиски, дезорієнтувати працюючого. Всі ці причини можуть привести до небажаних помилок працівника, тому важливо правильно розрахувати освітленість приміщення. Правильно спроектоване і виконане виробниче освітлення покращує умови зорової роботи, знижує стомлюваність, сприяє підвищенню продуктивності праці, надаючи позитивну психологічну дію на персонал, підвищує безпеку праці і знижує помилковість.

Шум

Шум - це коливання звукової хвилі в звуковому діапазоні, що характеризується змінною частотою і амплітудою, непостійні в часі, які не несуть корисної інформації людині.

Шум має акумулятивний ефект, тобто акустичні подразнення, накопичуючись в організмі людини, все сильніше пригнічують нервову систему. Тому перед втратою слуху від впливу шумів виникає функціональний розлад центральної нервової системи. Особливо шкідливий вплив шуму позначається на нервово-психічній діяльності людини. Процес нервово-психічних захворювань вищий серед осіб, що працюють у гомінких умовах, ніж у людей, що працюють у нормальних звукових умовах.

Шуми викликають функціональні розлади серцево-судинної системи; шкідливо впливають на зоровий і вестибулярний аналізатори; знижують рефлекторну діяльність, що часто стає причиною нещасних випадків і травм.

					КР.131.6121м.05.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

В даному розділі дипломного проекту проведено аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів при роботі з комп'ютером в приміщеннях, а також при виконання наплавочних робіт.

Таким чином, правильне використання комп'ютера вимагає особливої уваги стосовно обладнання робочого місця. Виконання всіх правил гігієни в цьому відношенні значно зменшить кількість порушень функціонального організму і збільшить працездатність.

В даній роботі було проведено розрахунок ламп розжарювання та люмінесцентних ламп.

					КР.131.6121м.05.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					КР.131.6121м.05.05.ПЗ						
Изм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
					Охорона навколишнього середовища				Лит.	Арку	Аркушів
Студент	Андрієвський Д.О.										
Керівник	Лабарткава О.В.										
									НУК ім. адмірала Макарова		
Зав.Кафед.	Драган С.В.										

5. Охорона навколишнього середовища

Вступ

Охорона навколишнього середовища і раціональне використання його ресурсів в умовах інтенсивного росту промислового виробництва стала однією з актуальних проблем сучасності.

Для суднобудування ці задачі особливо актуальні, тому що суднобудівні підприємства розташовані, як правило, поблизу, а часто в межі міст, де виробниче середовище є для більшості людей середовищем існування.

Необхідно підвищувати ефективність заходів по збереженню природи. Ширше впроваджувати безвідходні технічні технології. Розвивати комбіновані виробництва, що забезпечують повне і комплексне використання природних ресурсів, сировини, матеріалів, що виключають або знижують шкідливу дію на навколишнє середовище.

При роботі необхідно дотримувати вимоги, висловлені в Законі України «Про охорону навколишнього середовища» від 25.06.91 р., а також вимоги, висловлені в Законі України «Про охорону атмосферного повітря» від 16.10.92 р. Кожен завод повинен дотримуватись наступних вимог:

1) канали витяжної вентиляції повинні обладуватися пиловловлюючими пристроями;

2) залишки дроту і флюсу повинні використовуватися як вторинна сировина; використані матеріали повинні складуватися в тару і спалюватися в спеціальних печах;

3) оброблена технічна вода повинна відводитися в спеціальні загальнозаводські очисні цистерни, споруди. При організації зварювальних Робіт необхідно керуватися ухвалою № 888 «Про поліпшення охорони природи і поліпшення використання природних ресурсів».

					КР.131.6121м.05.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.1 Аналіз шкідливого впливу на навколишнє середовище при наплавленні

Основними забруднювачами повітря робочої зони і навколишнього атмосферного повітря є:

- зварювання (всіх видів) з виділенням пилу, оксидів металів, вуглеводню;
- гальванічні процеси з виділенням аерозольних продуктів;
- фарбувальні роботи з виділенням пари шкідливих розчинників і інших речовин.

Загальний об'єм викидів з одного підприємства складає 1-6 тисяч тонн твердих частинок і газів в рік.

Усуваючи дію шкідливих і небезпечних виробничих чинників, створення здорового повітряного середовища є важливою задачею, яка повинна здійснюватися комплексно, одночасно з рішенням основних питань виробництва.

Створення сприятливих умов повітряного середовища забезпечується перш за все вибором таких технологічних процесів, при яких утворюється мінімальна кількість шкідливих і щодо менш небезпечних токсичних речовин і правильним вибором початкових матеріалів, які виключають або значно зменшують утворення шкідливих речовин або дозволяють їх повністю утилізувати.

Таким чином [25], для можливості подальшого зменшення виробничого мікроклімату, необхідно направляти зусилля на рішення наступних задач:

1. Широко застосовувати зварювальне устаткування з найменшими викидами шкідливих речовин;
2. Розробляти оптимальні схеми організації виробництва з урахуванням розпоряджень природоохоронних організацій по забрудненнях.

Таким чином, розглянуті питання дозволяють запобігти забрудненням навколишнього середовища різними речовинами, що в нашій країні є загальнодержавною задачею.

					КР.131.6121м.05.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Захист навколишнього середовища - комплексна проблема, що вимагає зусиль вчених багатьох спеціальностей. Однією із основних проблем, зв'язаних з попередженням забруднення, являється своєчасне виявлення факторів забруднення.

Найбільш активною формою захисту навколишнього середовища від шкідливого впливу викидів промислових підприємств є перехід до безвідходних технологій.

При організації зварювальних робіт, необхідно керуватися постановою №888 «Про поліпшення охорони природи і поліпшення використання природних ресурсів». Відповідно до цього повинні виконуватись наступні вимоги:

- в цехах та відділах повинна налагоджено працювати система вентиляції, кондиціонування та очистки повітря від шкідливих, забруднюючих речовин;
- приміщення цехів повинні своєчасно звільнятися від відходів підприємства, а також не загроможуватись великою кількістю підручного та виробничого матеріалу;
- санітарною службою цеху повинно регулярно виконуватись вологе прибирання усіх приміщень, а в кабінетах адміністративного персоналу повинно проводитись озеленіння декоративними рослинами та кімнатними квітами, що очищує повітря, та сприяє роботі;
- обладнання повинно підтримуватися в налагодженому стані, щоб не виділяти в повітря робочої зони отруйних речовин;
- відходи металу, електродів, порошоків, конструкцій, не придатних для подальшого використання, утилізувати в якості металолому;
- використане дрантя, забруднене маслами та ін. збирати в ящики з кришками, вивозити та знищувати в спеціально призначених місцях;
- відпрацьована технічна вода повинна відводитись в спеціальні загальнозаводські очисні споруди;

					КР.131.6121м.05.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- рішення поставлених задач сумісно з реалізацією та впровадженням установок утилізації тепла витяжного повітря дозволить підвищити ефективність та економічність систем вентиляції.

Найефективнішим шляхом боротьби є розробка і застосування таких технологій і початкових матеріалів які виключають або зменшують виділення шкідливих речовин, або дозволяють повністю їх утилізувати.

Найбільше поширення для боротьби із забрудненнями повітряного середовища одержала місцева витяжна вентиляція з вбудованою ефективною пилогазоочисною апаратурою. Так, для очищення повітря від рідких аерозолів і брызок кислот ефективні спеціальні волоконні фільтри.

Державний контроль за роботою газоочисних та пиловловлюючих споруд здійснює державна інспекція, яка має мету перевіряти підприємства і організації незалежно від форми їх власності.

Підвищити державний контроль за станом природного середовища і джерелом забруднення, поліпшити технічне оснащення цієї служби, збільшувати випуск приладів контролю і регулювання витрат паливо-енергетичних ресурсів - головна задача на сьогоднішній день.

5.2. Вибір й опис засобів очищення повітря при наплавленні

Проблеми захисту навколишнього середовища від відходів і забруднень, внесених промисловими підприємствами й транспортом, з кожним роком здобуває все більше значення. Перед всіма сучасними державами стоять первісні завдання по охороні навколишнього середовища. Основні з них:

1. Підвищення ефективності мір по охороні природи;
2. Впровадження маловідходних і безвідходних технологічних процесів;
3. Розвиток комбінованих виробництв забезпечують повне й комплексне використання природних ресурсів, сировини й матеріалів;
4. Розвиток виробництв виключаючих шкідливий вплив на навколишнє середовище.

					КР.131.6121м.05.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні шкідливості процесу наплавлення є:

- ✓ Пил;
- ✓ Гази;
- ✓ Ультрафіолетове випромінювання;
- ✓ Бризки металу;

При наплавленні виділяються пил і гази.

У зв'язку з тим, що при наплавленні в газових середовищах відбувається виділення шкідливих речовин, тому необхідно робити очищення повітря в цеху щоб попередити їхнє попадання в навколишнє середовище.

Як заходи які дозволяють значно знизити викид шкідливих речовин, що виділяються при наплавленні в атмосферу, рекомендується:

- ✓ Герметизація технологічного устаткування для зварювальних і газо-ріжучих операцій;
- ✓ Заміна технологічних процесів;
- ✓ Установка фільтрів на системах витяжної вентиляції;
- ✓ Використання дистанційного керування.

Знизити вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони можна, використовуючи технологічні процеси й устаткування, при яких шкідливі речовини або не утворюються, або не попадають у повітря робочої зони. Наприклад, переведення різних термічних установок і печей з рідкого палива, при спалюванні якого утвориться значна кількість шкідливих речовин, на більше чисте - газоподібне паливо, а ще краще - використання електричного нагрівання.

Велике значення має надійна герметизація устаткування, що виключає попадання різних шкідливих речовин у повітря робочої зони або значно знижує в ньому концентрацію їх. Для підтримки в повітрі безпечної концентрації шкідливих речовин використовують різні системи вентиляції. Якщо перераховані заходи не дають очікуваних результатів, рекомендується автоматизувати виробництво або перейти до дистанційного керування технологічними процесами. У ряді випадків для захисту від впливу шкідливих

					КР.131.6121м.05.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

речовин, що перебувають у повітрі робочої зони, рекомендується використати індивідуальні засоби захисту працюючих (респіратори, протигази), однак варто враховувати, що при цьому істотно знижується продуктивність праці персоналу. Як загальні заходи щодо захисту навколишнього середовища рекомендується збір твердих відходів зварювального виробництва й подальша їхня переробка й утилізація.

5.3. Заходи щодо скорочення негативного впливу

Основним методом зниження рівня впливу шкідливих факторів це впровадження сучасних технологій по очищенню й утилізації відходів виробництва. Закономірне розташування виробничих об'єктів для можливості використання втор сировини в інших галузях промисловості.

Відповідно до закону "Про охорону атмосферного повітря" кожне підприємство, установа або організація діяльності, який пов'язана з викидами в атмосферу забруднюючих речовин повинна бути оснащена відповідними спорудженнями, устаткуванням(апаратурами) для очищення цих викидів, і засобами контролю за кількістю, і складом викинутих в атмосферу забруднювачів.

Очищення виконується за допомогою спеціального газоочисного устаткування, що часто складаються з одного або декількох газоочисних апаратів, допоміжного устаткування й комунікацій. Газоочисним апаратом - називається елемент газоочисного устаткування, у якому виконується певний виборчий процес уловлювання твердих, рідких і газоподібних речовин.

5.4. Заходи щодо зниження впливу шкідливих факторів виробництва на навколишнє середовище

Сучасне виробництво розвивається на базі великих виробничих об'єднань, що включають заготівельні й ковальсько-пресові цехи, цехи термічної й механічної обробки металів, цехи покриттів і ливарне виробництво. До складу підприємств входять дослідні станції, ТЕЦ і

					КР.131.6121м.05.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

допоміжні підрозділи. У процесі виробництва машин й устаткування широко використовують зварювальні роботи, механічну обробку металу, переробку неметалічних матеріалів, лакофарбові операції [26].

Найбільші забруднення атмосферного повітря надходять від енергетичних установок, що працюють на вуглеводневому паливі.

Також на території машинобудівного підприємства утворюється велика кількість стічних вод, таких як побутові, поверхневі й виробничі.

Тверді відходи машинобудівного виробництва містять амортизаційний лом(модернізація устаткування), стружки металів, деревини, пластмас, шлаки, зола, шлам, опади йпилу(відходи систем очищення повітря).

Захист навколишнього середовища - це комплексна проблема, що вимагає зусиль учених багатьох спеціальностей. Найбільш активною формою захисту навколишнього середовища від шкідливого впливу викидів промислових підприємств є повний перехід до безвідхідного й маловідходних технології і виробництвам.

Важливим напрямком екологізації промислового виробництва варто вважати: удосконалювання технологічних процесів і розробку нового обладнання з меншим рівнем викидів домішок і відходів в навколишнє середовище; екологічну експертизу всіх видів виробництва й промислової продукції; заміну токсичних відходів на нетоксичні; заміну неутилізованих відходів на утилізуємі; широке застосування додаткових методів і засобів захисту навколишнього середовища.

Як додаткові засоби захисту застосовують: апарати й системи для очищення газових викидів, стічних вод від домішок; погашувачі шуму при скиданні газів в атмосферу.

Важлива роль у захисті навколишнього середовища приділятися заходам щодо раціонального розміщення джерел забруднень: винесення промислових підприємств із великих міст у малонаселені райони з непридатним і мало придатним для сільськогосподарського землями; оптимальне розташування

					КР.131.6121м.05.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

промислових підприємств із урахуванням топографії місцевості й рози вітрів;
установлення санітарно-захисних зон навколо промислових підприємств.

В охороні навколишнього середовища необхідні служби контролю якості навколишнього середовища, які повинні вести систематизовані спостереження за станом атмосфери, води й ґрунту, для одержання фактичних рівнів забруднення навколишнього середовища. Отримана інформація про забруднення дозволяє швидко виявляти причини підвищення концентрацій шкідливих речовин й активно їх усувати.

					КР.131.6121м.05.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

Таким чином, розглянуті питання дозволяють запобігти забрудненням навколишнього середовища різними речовинами, що в нашій країні є загальнодержавною задачею. Дозволить підвищити державний контроль за станом природного середовища і джерелом забруднення, поліпшити технічне оснащення цієї служби, збільшувати випуск приладів контролю.

					КР.131.6121м.05.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблено скінчено-елементна математична модель яка дозволяє вирішувати термопластичну задачу прямим методом.

2. Досліджено вплив діаметру плями нагріву на рівень максимальних температур. Встановлено, що зміна діаметру плями нагріву з 6 до 12 мм, при незмінної потужності, дозволяє регулювати рівень максимальної температури в широких межах.

3. Аналіз, епюр розподілу температур показав, що при збільшенні діаметра плями нагріву з 6 до 12 мм максимальна температура знижується з 1900 до 1300°C. Після охолодження протягом 10 сек, максимальна температура знижується до 300-320 °C при діаметрі джерела нагріву 6 і 9 мм. З ростом діаметра плями нагріву до 12 мм температура збільшується до 420 °C

4. Аналіз термічних циклів показав, що максимальна температура в точці 1 для діаметру 6 мм дорівнює 1900 °C , швидкість нагріву складає 140 °C/c . Після закінчення нагрівання, температура знижується до 800 °C зі швидкістю охолодження 550 °C/c. Для діаметру плями нагріву 9 мм в точці 1 максимальна температура нагрівається 1450 °C зі швидкістю нагрівання 108 °C/c. Після закінчення нагрівання, температура знижується до 800 °C зі швидкістю охолодження 375 °C/c. Аналіз термічних циклів показав, що максимальна температура в точці 1 для діаметру 12 мм дорівнює 1100 °C , швидкість нагріву складає 40 °C/c . Після закінчення нагрівання, температура знижується до 700 °C зі швидкістю охолодження 133 °C/c. При подальшому охолодженні швидкість охолодження знижується зі швидкістю охолодження 42 °C/c до температури 400 °C.

5. Досліджено, що при зменшені щільності теплового потоку, швидкість нагріву та охолодження зменшується.

6. Аналіз літературних джерел показав, що при щільністю теплового потоку найбільш сприятливі умови гарантує джерело нагріву з ацетилено- кисневим полум'ям.

					КР.131.6121м.05.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Література

1. Демін Ф.І. Технология изготовления основных деталей газотурбинных двигателей: учеб. пособие / Демін Ф.І., Пронічев Н.Д., Шітарев І.Л. – М.: Машинобудування, 2002. – 328 с.
2. Полетаєв В.А. Технологія автоматизованого виробництва лопаток газотурбінних двигунів/В.А. Полетаєв. - М.: Машинобудування, 2006. – 256 с.
3. Технологічне забезпечення експлуатаційних характеристик деталей ВМД. Лопатки компресора та вентилятора. Частина І. Монографія. м.Запоріжжя, вид. ВАТ "Мотор Січ", 2003. – 396 с.
4. Абраїмов Н.В. Хіміко-термічна обробка жароміцних сталей та сплавів / Н.В. Абраїмов, Ю.С. Єлісєєв. - М.: Інтернет Інжиніринг, 2001. – 622 с.
5. Хімушін Ф.Ф. Жароміцні сталі та сплави / Ф.Ф. Хімушин-М.: Металургія, 1964. - 672 с.
6. Формування ліквідаційної неоднорідності в жароміцних сплавах на нікелевій основі / О.П. Калінушкін [та ін]; під. ред. Є.П. Калінушкін, Металознавство та термічна обробка металів.- 1999.-№2.- С.19 -22
7. Наукові основи легування жароміцних нікелевих стійких сплавів проти високотемпературної корозії (ВТК) / А.Д. Коваль [та ін]; під. ред А.Д. Коваль - К.: 1990. - 56 с.
8. Каблов Є.М. Литі лопатки газотурбінних двигунів (сплави, технологія, покриття)/О.М. Каблов - М.: МІСІС, 2001. - 632 с.
9. Патон, Б.Є. Жароміцність ливарних нікелевих сплавів та захист їх від окислення. / Б. Є. Патон, Г.Б. Строганов, З. Т. Кишкін – До: Наукова думка, 1987. – 258 з.
10. Праця МІС, Дослідження утворення зварювальних тріщин у литих нікелевих сплавах// Зварювальне виробництво. - 1971. - №4. - С.57-59.

					КР.131.6121м.05.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Таскаєв, П.В. Відновлення моноколес газотурбінних двигунів та агрегатів при пошкодженні робочих кромок однієї або кількох лопаток [Електронний ресурс] // Наука та освіта. 2010 року.

12. Відновлення зношених деталей наплавленням трубчастими електродами. М., ЦБТІ, 1960.-33 с.

13. Оздоблювально-зміцнююча обробка деталей ВМД / під. ред..В. А. Богуслаєв В.А. - Запоріжжя: ВАТ «Мотор Січ», 2005. - 559 с.

14. Нікітін, В.І. Корозія та захист лопаток газових турбін. / В.І. Нікітін - Л.: Машинобудування, 1987.-276 с.

15. Чигарьов, А. В. ANSYS для інженерів/А.В. Чигарьов, А.С. Кравчук, О.Ф. Смалюк. справ. посібник. М: Машинобудування-1, 2004. 512 с.

16. Системи автоматизованого проектування: У 9-ти кн. Кн. 4. Математичні моделі технічних об'єктів: Навч. посібник для втузов/В. А. Трудоношин, Н. В. Пивоварова; За ред. І. П. Норенкова. - М: Вищ. шк., 1986. - 160 с.

17. О.Зенкевич, К.Морган Кінцеві елементи та апроксимація. Пров. з англ. - М.: Світ, 1986 -318с.

18. Каплун, А.Б. ANSYS в руках інженера/А.Б. Каплун, Є.М. Морозов, М.А. Олфер'єва // Практичний посібник. - М.: Едиторіал УРСС, 2002. - 272 с.

19. 19. Крилов, О.В. Метод кінцевих елементів та його застосування в інженерних розрахунках / О.В. Крилов // Навчальний посібник для вузів. - М.: Радіо і зв'язок, 2002. - 104 с.

20. Клебанов, Я.М. Використання програмного комплексу ANSYS у навчальному процесі / Я. М. Клебанов, А. Н. Давидов, В. Л. Папіровський.

21. ДСТ 12.2.032 «ССБТ. Робоче місце під час виконання робіт сидячи. Загальні ергономічні вимоги».

22. ГОСТ 2239-79. Лампи розжарювання. - М.: Видавництво стандартів,1982.

					КР.131.6121м.05.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

23. ГОСТ 6825-74. Лампи люмінесцентні ртутні низького тиску. М: Видавництво стандартів, 1982.

24. ДЕСТ 12.1.00-88 «ССБТ. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони».

25. Державна програма охорони навколишнього природного середовища і раціонального використання природних ресурсів України (концептуальний варіант). — К., 1995

26. Дьоміна, Т. А. Екологія, природокористування, охорона довкілля: Посібник учнів старшої школи загальноосвітніх установ. / Т.А. Дьоміна – М.: Аспект Пресс, 1998. – 143 з.

27. Бурумкулов, Ф. Х. Електроіскрові технології відновлення та зміцнення деталей машин та інструментів (теорія та практика) / Ф. Х. Бурумкулов, П. П. Лезін, П. В. Сенін, В. І. Іванов, С. А. Величко, П. А. Іонов. - Саранськ: Червоний Жовтень, 2003. - 340 с.

28. Технологія та обладнання зварювання плавленням та термічного різання: Підручник для вузів. – 2-ге вид. Випр. та доп./А.І.Акулов, В.П.Алехін, С.І.Єрмаков та ін/ Під ред.А.І. Акулова .- М: Машинобудування, 2003.-560 с.

29. 29. Зносостійкість сплавів, відновлення та зміцнення деталей машин / За загальною ред.В.С. Попова.- Вид. ВАТ Мотор Січ. - Запоріжжя, 2006. - 420с.

					КР.131.6121м.05.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		