

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

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

Обладнання та технології зварювального виробництва
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему: «Розробка технології виготовлення кільця направляючого апарату турбіни з жароміцного сплаву ЕП-648ВІ з проектуванням ділянки»

Виконав: студент(ка) 5 курсу, групи ІФ-310м

Спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології та устаткування зварювання

Котов Микола Миколайович

(прізвище та ініціали)

Керівник Лаптева Ганна Миколаївна

(прізвище та ініціали)

Рецензент Гнатенко Михайло Олегович

(прізвище та ініціали)

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

Інститут, факультет: Фізико-технічний інститут, інженерно-фізичний факультет
Кафедра: Обладнання та технології зварювального виробництва

Ступінь вищої освіти: магістр

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Технології та устаткування зварювання

(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри 


«23» 11 2021 року

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

Котов Микола Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи): Розробка технології виготовлення кільця направляючого апарату турбіни з жароміцного сплаву ЕП-648ВІ з проєктуванням ділянки

Керівник проекту (роботи): Лаптева Ганна Миколаївна, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «07» грудня 2021 року № 499

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) базова технологія виготовлення кільця направляючого апарату; річна програма виготовлення

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Характеристика деталі та матеріалу, з якого вона виготовлена; 2. Розробка технології виготовлення деталі адитивним методом; 3. Дослідження властивостей зразків методом адитивного вирощування; 4. Техніко-економічні розрахунки; 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

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

1. Кільце направляючого апарату; 2. Зовнішній вигляд та характеристики двигуна Д-18Т; 3. Характеристика матеріалу виробу; 4. Етапи існуючої технології виготовлення кільця; 5. Розроблена технологія виготовлення виробу з використанням адитивних технологій; 6. Параметри режиму вирощування зразків для досліджень; 7. Дослідження вирощених зразків; 8. Дослідження механічних властивостей вирощених зразків. 9. Техніко-економічні розрахунки; 10. План ділянок;

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	приймав виконане завдання
Інженерно-технічна частина	Г.М. Лаптева, доцент	01.10.21 	30.11.21 
Економічні розрахунки	В.В. Круглікова, доцент	 10.08.21	 -21.12.21
Охорона праці	О.В. Нестеров, зав. Кафедри ОПНС		

7. Дата видачі завдання « 01 » жовтня 2021 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ	5.10.21	викр.
2	Аналіз вихідних даних та технічного завдання проекту	11.10.21	викр.
3	Літературний огляд	22.10.21	викр.
4	Розробка технології виготовлення виробу	1.11.21	викр.
5	Дослідження властивостей вирощених зразків та обробка результатів	30.11.21	викр.
6	Техніко-економічні розрахунки	30.11.21	викр.
7	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	30.11.21	викр.
8	Висновок	30.11.21	викр.
9	Виконання креслень та додатків	30.11.21	викр.

Студент(ка)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

М.М. Котов
(прізвище та ініціали)


(підпис)

Г.М. Лаптева
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 100 с., 32 рис., 22 табл., 1 додаток, 52 джерел.

ТУРБИНА, ФЛАНЕЦЬ, ЖАРОМІЦНИЙ СПЛАВ, ВИРОЩУВАННЯ,
АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ПЛАЗМА.

Об'єкт розробки – технологія виготовлення кільця ВНА двигуна Д-18Т.

Мета роботи – розробка нової технології виготовлення виробу з використанням адитивних технологій, а саме плазмового вирощування.

Спроектовано план ділянки виготовлення виробу та технологію вирощування.

Виготовлено зразки та проведено дослідження їх механічних властивостей та мікроструктури.

Передбачені заходи з охорони праці.

ABSTRACT

Explanatory note: 100 pages, 32 fig, 22 tables, 1 app, 52 sources.

**TURBINE, FLANGE, HEAT-RESISTANT ALLOY, GROWING.
ADDITIVE TECHNOLOGIES, PLASMA.**

Object of development is technology of production of a ring the directing device of D-18T engine.

Purpose of work is development of new technology of manufacturing of a product with additive technologies, namely WAAM PAM.

Planing area of manufacturing of a product ang technology of growing is developed.

Samples were made and their mechanical properties and microstructure were studied.

Labor protection measures are envisaged.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Характеристика деталі та матеріалу з якого вона виготовлена.....	10
1.1 Жароміцні сплави в авіабудуванні	10
1.2 Сплав ЕП-648ВІ, властивості, хімічний склад	14
1.3 Опис та характеристика двигуна, на який встановлено деталь.....	15
1.4 Характеристики та умови роботи кільця ВНА	17
1.5 Традиційна технологія	19
2 Розробка технології виготовлення кільця ВНА	24
2.1 Недоліки традиційної технології	24
2.2 Технологічний процес виготовлення деталі методом адитивного вирощування	25
2.3 Суть процесу адитивного вирощування	32
2.4 Суть процесу плазмового вирощування цільнотягнутим дротом.....	37
3 Дослідження властивостей зразків із сплаву ЕП-648ВІ (ХН50ВМТЮБ), отриманих методом адитивного вирощування	40
3.1 Макроструктурний аналіз зразків.....	40
3.2 Мікроструктурний аналіз зразків до термообробки.....	42
3.3 Мікроструктурний аналіз зразків після термообробки	50
3.4 Перевірка механічних властивостей	50
3.5 Висновки і заключення прийняті внаслідок дослідження	57
4 Техніко-економічні розрахунки.....	59
4.1 Розрахунок собівартості та економічного ефекту	63
4.2 Висновки по розділу техніко-економічні розрахунки.....	70
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	71
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	71
5.2 Заходи забезпечення безпеки.....	73
5.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці.....	81

5.4 Заходи безпеки в надзвичайних ситуаціях, пожежна безпека	87
Висновки	89
Перелік джерел посилання	91
Додаток А Маршрутна карта на технологічний процес вирощування кільця направляючого апарату двигуна Д-18Т98	98

ВСТУП

В наш час існують передумови для активного розвитку методів виготовлення деталей авіадвигунів, з достатньою міцністю, меншою трудомісткістю та меншою собівартістю. Більшість деталей в авіабудуванні виготовляються з легких (алюмінієві, магнієві, титанові) та жароміцних сплавів.

Виготовлення нових деталей традиційними методами, такими як лиття та обробка металів тиском мають ряд недоліків. Основні з них трудомісткість і вартість виробів: необхідність виготовлення великої кількості оснастки: моделей, кокілів прес-форм. Крім того, при одиничному та експериментальному виробництві, для реалізації конструкторського проекту деталей потрібно отримати в найкоротші терміни. У виробництві переважними залишаються традиційні методи виготовлення за допомогою ливарного оснащення з використанням універсального механообробного обладнання, рідше ЧПУ. Це пов'язано з тим, що на етапі дослідно-конструкторських робіт – коли конструкція виробу може бути змінена до досягнення потрібного результату, для виготовлення зразкового процесу, недоцільно створювати «нормальне» технологічне оснащення під виробництво. В таких умовах ливарна оснастка використовується одноразово і в подальшій роботі з виробом не застосовується, а це викликає додаткові витрати на виготовлення або закупку обладнання та навчання робітників. Тому, актуальним питанням є зниження частки оснастки, що вимагається для відпрацювання та затвердження технології. Розв'язувати дані задачі можна за допомогою застосування металургійних технологій пошарового наплавлення.

Технологія пошарового наплавлення показала себе вкрай ефективним металургійним методом у високотехнологічних галузях виробництва, оскільки дозволяє отримувати готовий виріб практично з будь-якого матеріалу, в тому числі із розповсюджених у авіабудуванні, жароміцних нікелевих сплавів, по заданій CAD-моделі пошарово з максимальною точністю. Механічні

властивості сплавів отриманих за цими технологіями не нижче, а у більшості випадків вище на 10 % ніж для литих сплавів. При виготовленні деталей з жароміцних сплавів, пошарове наплавлення дозволяє виключити з технологічного процесу етапи виготовлення моделей і прес-форм і, таким чином, реалізувати конструкторський проект в найкоротші терміни. Також нікелеві сплави досить складно виготовлювати методами лиття, так як вони мають невисоку плинність, також через те що для лиття даних сплавів необхідна підвищена температура (до 1700 °C), а через це з'являється підвищення схильності до окислення та насиченню воднем. Все це ускладнює та здорожує процес виготовлення заготовок.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕТАЛІ ТА МАТЕРІАЛУ, З ЯКОГО ВОНА ВИГОТОВЛЕНА

1.1 Жароміцні сплави в авіабудуванні

При виборі металів для авіабудування необхідно враховувати всі вимоги до їх механічних, фізичних і хімічних властивостей. Наприклад, крило літака повинно бути легким і міцним, вали та підшипники не повинні зношуватися, лопатки турбін – деформуватися під дією відцентрових сил. Безліч металів і сплавів, які широко використовуються в авіації, не витримують глибокого вакууму і вже при звичайних температурах починають «втрачати» фізико-механічні властивості [1]. Вибір металу для виготовлення авіаційної техніки залежить від умов роботи, тому вимоги до таких матеріалів включають характер навантажень, температуру, робоче середовище і т.д.

Отже, можна сказати, що метали для літакобудування повинні мати: високу міцність, питому міцність і достатню пластичність, хімічну стійкість в атмосферних умовах, забезпечувати простоту і дешевизну збору елементів конструкції, і при необхідності ремонт. Таким чином, правильне застосування матеріалу сприяє підвищенню рівня технічної експлуатації й збільшення часу роботи та надійності авіаційної техніки.

Жароміцні сплави - металеві матеріали, що володіють високим опором пластичної деформації і руйнування при дії високих температур і окислювальних середовищ. Початок систематичних досліджень жароміцних сплавів доводиться на кінець 1930-х років – період нового етапу в розвитку авіації, пов'язаного з появою реактивної авіації і газотурбінних двигунів (ГТД) [2].

Перші жароміцні сталі для газотурбінних двигунів були розроблені в Німеччині фірмою Krupp в 1936 – 1938 роках. Високолегована аустенітна сталь Тінідур створювалася як матеріал робочих лопаток турбіни на температури від 600 °С до 700 °С. Тінідур – аустенітна сталь з дисперсійним твердненням

(Ni₃Ti) і карбідним зміцненням. У 1943 – 1944 роках річне виробництво Тінідур становило 1850 тонн. Інститутом DVL та фірмою Heraeus Vacuumschmelze були розроблені аустеніту сталі (сплави по англійської термінології) DVL42 і DVL52 на більш високі робочі температури від 750 °C до 800 °C [5].

До 1942 року у Великобританії створено жароміцний сплав німонік-80 - перший в серії високожаропрочних дисперсійно-твердіючих сплавів на нікель-хромової основі. Творець сплаву - сер Вільям Гріффітс Griffiths WT. Основа сплаву німонік-80 – ніхром (80 % Ni – 20 % Cr), відомий з початку ХХ століття своєю високою жаростійкістю і високим електричним опором. Кількість зміцнюючої гамма-штрих фази в сплаві становило від 25 об % до 35 об %.

Одним з факторів, що визначають жароміцність, є високий опір повзучості. Жароміцність сплавів оцінюється межами тривалої міцності або повзучості при високих температурах, і пов'язана, в першу чергу, з їх структурою і складом. За структурою жароміцні сплави повинні бути багатофазними з міцними кордонами зерен і фаз. В нікелевих жароміцних сплавах сказане забезпечується багатокомпонентним легуванням. При цьому жароміцність сплавів тим вище, чим більше об'ємна частка зміцнюючих фаз і чим вище їх термічна стабільність, тобто стійкість проти розчинення і коагуляції при підвищенні температури [3].

Жароміцні сплави можуть бути на алюмінієвій, титановій, залізній, мідній, кобальтовій і нікелевій основах. Найбільш широке застосування в авіаційних двигунах отримали нікелеві жароміцні сплави, з яких виготовляють робочі і соплові лопатки, диски ротора турбіни, деталі камери згоряння і т. п. Залежно від технології виготовлення нікелеві жароміцні сплави можуть бути ливарними, деформованими і порошковими. Найбільш жароміцними є ливарні високолеговані сплави на нікелевій основі, здатні працювати до температур від 1050 °C до 1100 °C протягом сотень і тисяч годин при високих статичних і динамічних навантаженнях [4].

Згідно з оцінками експертів, за період 1950 – 1980-х років хімічні склади нікелевих жароміцних сплавів змінювалися найзначніше за рахунок введення алюмінію і заміщають його елементів в фазі [5].

Ливарні жароміцні сплави на основі нікелю (ЖНС) відносяться до класу дисперсійно-твердіючих високотемпературних матеріалів. Основне зміцнення в них досягається когерентними частками ($\leq 0,5$ мкм) γ' - фази на основі інтерметаліду Ni_3Al , які утворюються при розпаді перенасиченої γ - фази в процесі охолодження з температури нижче γ' - солвуса. Обидва фазових складники мають ізоморфні ГЦК ґратки, з тою лише різницею, що γ - фаза є неупорядкованим твердим розчином заміщення на основі нікелю з періодом кристалічної ґратки, який незначно ($\leq 0,3$ %) відрізняється від такого в упорядкованій γ' - фази. Поряд зі зміцненням γ' - фазою в ЖНС реалізується дисперсійне зміцнення частками карбідів і боридів різного типу, їх сумарний об'ємний склад досягає від 1,5 % до 2 %. Таким чином, фазовий склад ЖНС складається з важколегованого γ - твердого розчину на основі нікелю, інтерметалідної γ' - фази, карбідів та боридів[6].

Жароміцні сплави на основі нікелю, як правило, володіють складним хіміскладом. Він включає 12 - 13 компонентів, ретельно збалансованих для отримання необхідних властивостей. Вміст таких домішок, як кремній (Si), фосфор (P), сірка (S), кисень (O) і азот (N) також контролюється. Зміст таких елементів, як селен (Se), телур (Te), свинець (Pb) і вісмут (Bi) повинно бути мізерно малим, що забезпечується підбором шихтових матеріалів з низьким вмістом цих елементів, тому що позбавитися від них в ході плавки не представляється можливим. Ці сплави зазвичай містять 10-12% хрому (Cr), до 8% алюмінію (Al) і титану (Ti), від 5 % до 10 % кобальту (Co), а також невеликі кількості бору (B), цирконію (Zr) і вуглецю (C). Іноді додаються молібден (Mo), вольфрам (W), ніобій (Nb), тантал (Ta) і гафній (Hf) [7].

Легуючі елементи в цих сплавах можна згрупувати наступним чином:

- елементи, що утворюють з Ni аустенітну γ' - матрицю з ґранецентрованою кристалічною ґраткою – Co, Fe, Cr, Mo і W.

- елементи, що утворюють зміцнюючу γ' - фазу (Ni_3X) – Al, Ti, Nb, Ta, Hf. При цьому Ti, Nb і Ta входять до складу фази і зміцнює її.

- елементи, що утворюють сегрегацію по межах зерен – B, C і Zr.

- карбідоутворюючі елементи – Cr, Mo, W, Nb, Ta і Ti. Al і Cr утворюють оксидні плівки, що захищають вироби від корозії.

В ЖНС входять домішки багатьох кольорових металів з низькою температурою плавлення, які практично не розчиняються в γ - твердому розчині, наприклад Pb, Sn, As, Bi, Cu, Sb, Zn, Cd. Сегрегуючи по межах зерен і міжфазним поверхням розділу γ / γ' вони, значно знижують службові властивості сплавів. Тому в ЖНС строго контролюється і обмежується вміст кольорових металів [6].

До основних фаз жароміцних сплавів належать[8]:

- гамма-фаза (γ) – матрицею з г.ц.к. кристалічною ґраткою. У твердому розчині цієї фази міститься велика кількість Co, Cr, Mo, W.

- гамма-штрих (γ') фаза утворює частинки преципітату, що має також г.ц.к. кристалічну ґратку. У цю фазу входять такі елементи, як Al і Ti. Об'ємна частка цієї фази, когерентної аустенітної матриці досить велика.

- карбіди. Вміст вуглецю в сплавах відносно невеликий (від 0,05 % до 0,2%). Він з'єднується з карбідоутворюючими елементами – Ti, Ta, Hf.

- зерногранічна γ' - фаза. Ця фаза утворюється у вигляді плівки по межах зерен у процесі термічної обробки.

- бориди. Виділяються по межах зерен у вигляді рідких частинок

- фази т.п.у. (топологічно щільноупаковані фази) мають пластинчасту морфологію. Приклад: фази σ , μ і фаза Лавеса. Ці фази призводять до крихкості матеріалу і є небажаними [6]

Переваги жароміцних нікелевих сплавів:

- мають високу жароміцність (до 1100 °С);

- мають хороші показники жаростійкості.

Недоліки:

- сплави з вмістом хрому і особливо нікелю мають високу вартість;
- маючи в своєму складі велику кількість різних компонентів, досить трудомісткі у виробництві.

1.2 Сплав ЕП648ВІ, властивості, хімічний склад

ЕП648ВІ (ХН50ВМТЮБ) – жароміцний сплав на нікелевій основі. Використовується для виготовлення листового прокату, трубної заготовки і труб методом гарячої обробки тиском, виготовлення високонавантажених деталей для обмеженого строку служби при температурі до 950 °С, виготовлення деталей авіаційної техніки (диски, лопатки, кільця авіатурбін). Щільність: 8,72 г / см³ [9].

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сплаву ЕП648ВІ [9]

Елемент	C	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
Масова частка, %	< 0,1	< 0,4	< 0,015	<0,01	32 – 35	2,3 – 3,3	решта
Елемент	Al	W	Si	B	Fe	V	Ti
Масова частка, %	0,5 – 1,1	4,3 – 5,3	< 0,4	< 0,008	< 4	0,5 – 1,1	0,5 – 1,1

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сплаву ЕП648ВІ [10]

Температура, °С	Межа текучості, МПа	Тимчасовий опір розриву, МПа	Відносне подовження, %	Відносне звуження, %	Ударна в'язкість А _н при 20 °С, Дж / см ²
20	350	800	25	-	35
800	350	-	13	18	-

У макроструктурі заготовок не допускається слідів усадочних раковин, підусадочної рихлості, розшарувань, підкіркових бульбашок, тріщин, темної і світлої скоринки, сторонніх неметалевих макровключень і сторонніх металевих включень, видимих без застосування збільшувальних приладів. Макроструктура сплаву по центральній пористості, точковій неоднорідності і ліквіаційному квадрату не повинна перевищувати 1 бала за кожним видом.

Зварюваність обмежена. До відпускнуї крихкості не схильна.

1.3 Опис та характеристика двигуна, на який встановлено деталь

Д-18Т (рис.1.1) - турбореактивний двоконтурний двигун, розроблений в Запорізькому машинобудівному конструкторському бюро «Прогрес» під керівництвом головного конструктора В. А. Лотарева.



Рисунок 1.1 – Двигун Д-18Т

Двигун обладнаний ефективним пристроєм реверсу тяги, встановленим в контурі вентилятора. Модульна конструкція двигуна в поєднанні з ефективними засобами діагностики стану вузлів забезпечує можливість експлуатації за технічним станом без капітальних ремонтів на заводі [11].

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики Д-18Т

Злітний режим ($H = 0$, $M_n = 0$, МСА)	
Тяга, кгс (кН)	23430 (229,85)
Питома витрата палива, кг / кгс·ч (кг / Н·год)	0,34 (0,0347)
Крейсерний режим ($H = 11000$ м, $M_n = 0,75$, МСА)	
Тяга, кгс (кН)	480 (47,68)
Питома витрата палива, кг / кгс·ч (кг / Н·год)	0,546 (0,0557)
Витрата палива з тягою 4800-5400 кг (Н 36100 М-0.75 МСА+10)	0.568-0.625 г / кг·год

Продовження таблиці 1.1

Суха маса (з реверсом), кг	4100
Поставочна маса Д-18Т-3С на Ан-124/225, кг	5615
Назначений ресурс, год	20000
Габарити, мм	
Довжина	5400
Діаметр	2330
Ступінь двоконтурності	5,6
Температура газів перед турбіною, К	1630

Основні переваги двигуна:

- велика злітна тяга
- низька питома витрата палива
- висока надійність (задовольняє вимогам норм льотної придатності FAR і BCAR)
- великий ресурс
- низькі рівні шуму і емісії забруднюючих повітря речовин (відповідає нормам ICAO)
- простота обслуговування і висока ремонтпридатність

1.4 Характеристики та умови роботи кільця ВНА

В даній роботі розглядається деталь: фланець авіадвигуна (рис.1.2, рис. 1.3). Він є частиною турбінного вузла двигуна Д-18Т, який встановлюють на надважкі літаки Ан-124 «Руслан» і Ан-225«Мрія».

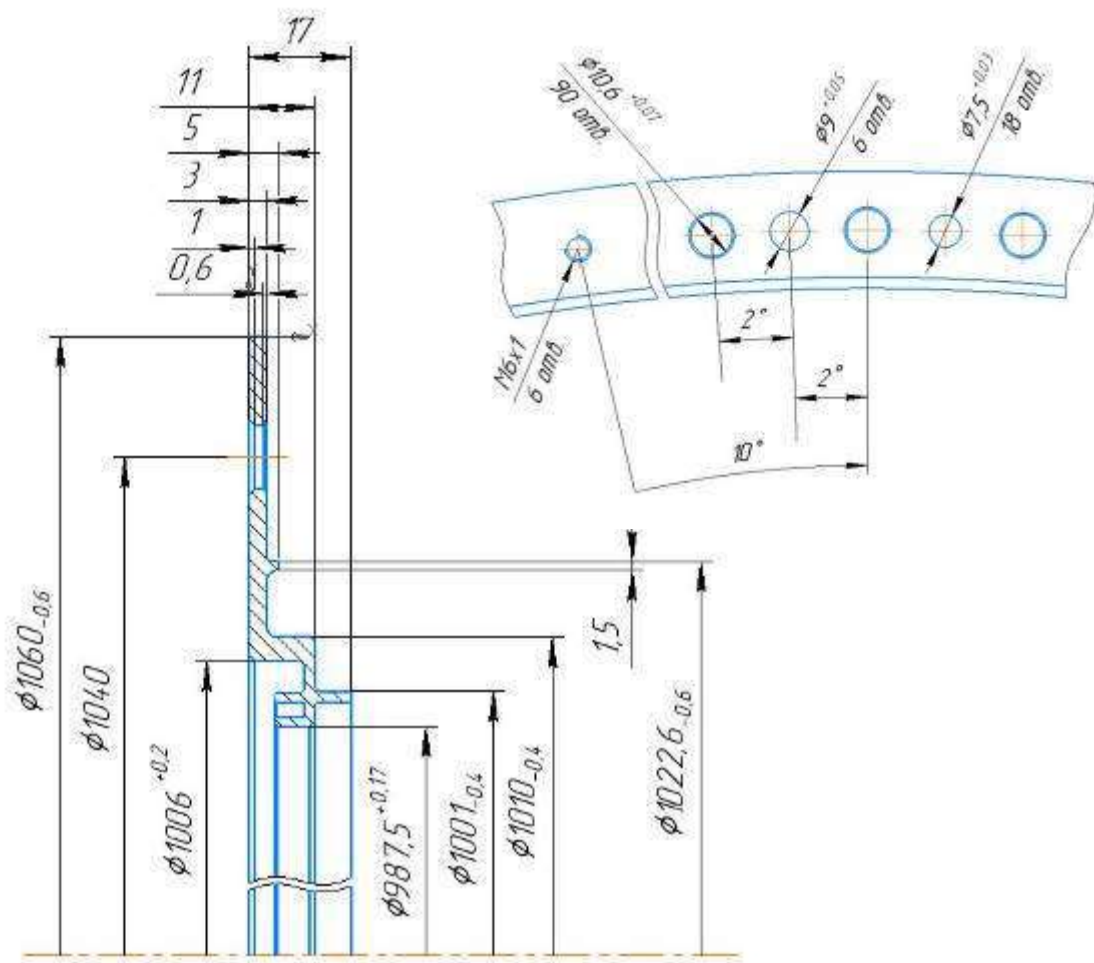


Рисунок 1.2 – Креслення фланцю турбіни

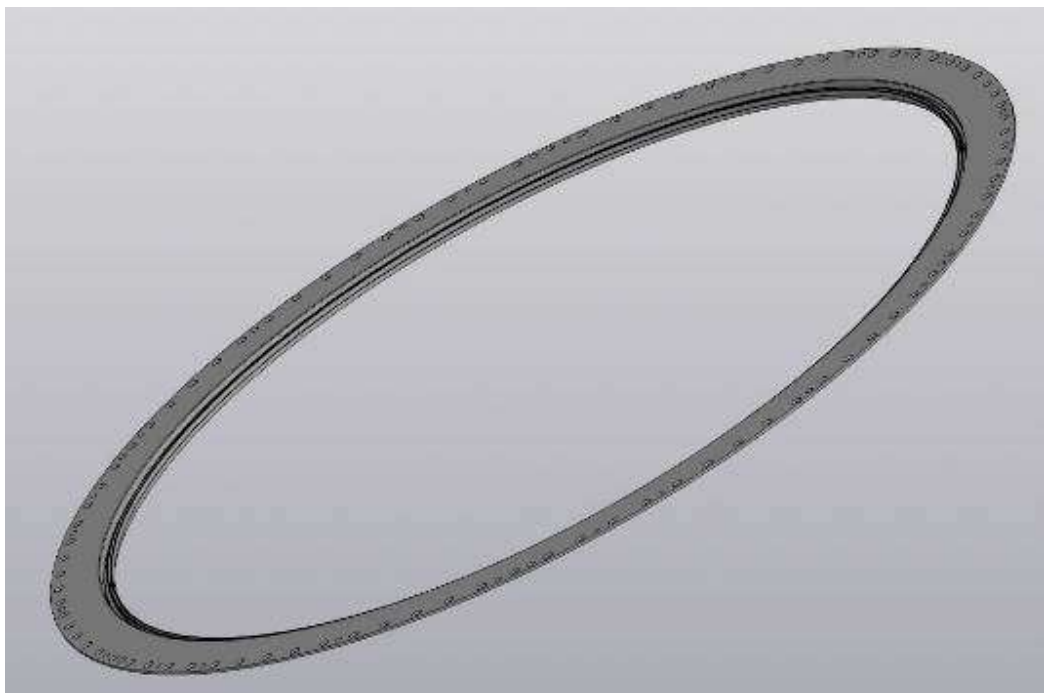


Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд деталі

Деталь працює в умовах високої температури ~ 400 °С, та невеликих динамічних навантажень.

1.5 Традиційна технологія

На підприємстві традиційно фланець виготовляють в наступному порядку.

Перший етап. Проводиться контроль якості вхідної заготовки, а саме квадратної плити довжиною – 1080 мм, товщиною – 25 мм, виготовлений із сплаву ЕП 648-ВІ.

Другий етап. З плити виготовляють заготовку (рис. 1.4) діаметром $d = 1070$ мм, потім, шляхом ковки, токарної обробки та штампування на пресі виготовляють кільце (рис. 1.5), внутрішній діаметр якого – 980 мм, зовнішній – 1070 мм. Якість контролюється візуально та за допомогою вимірювальних приладів (штангенциркуль, штангенрейсмус), проводиться люм-контроль для виявлення тріщин. Заготовка передається в наступний цех.

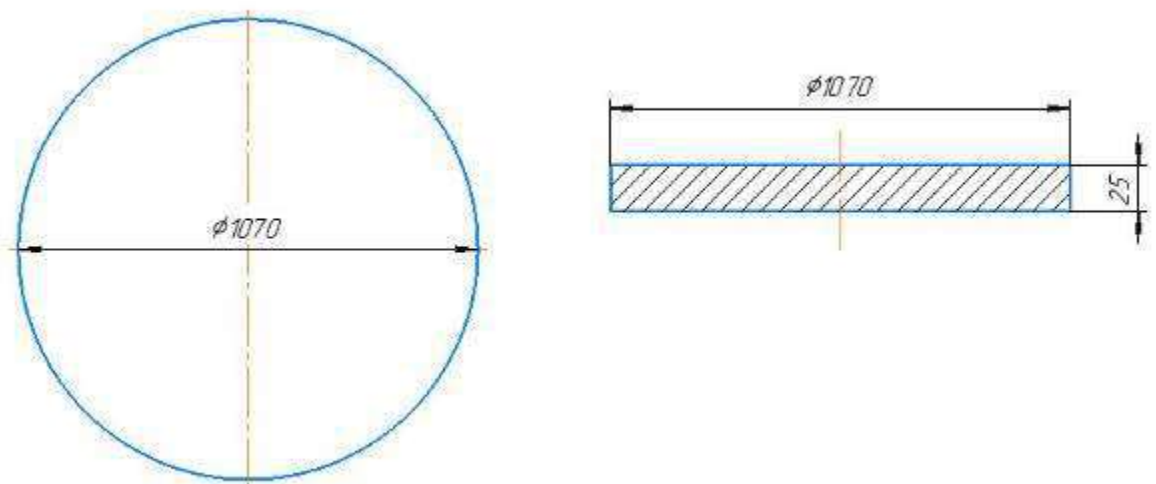


Рисунок 1.4 – Ескіз заготовки №1

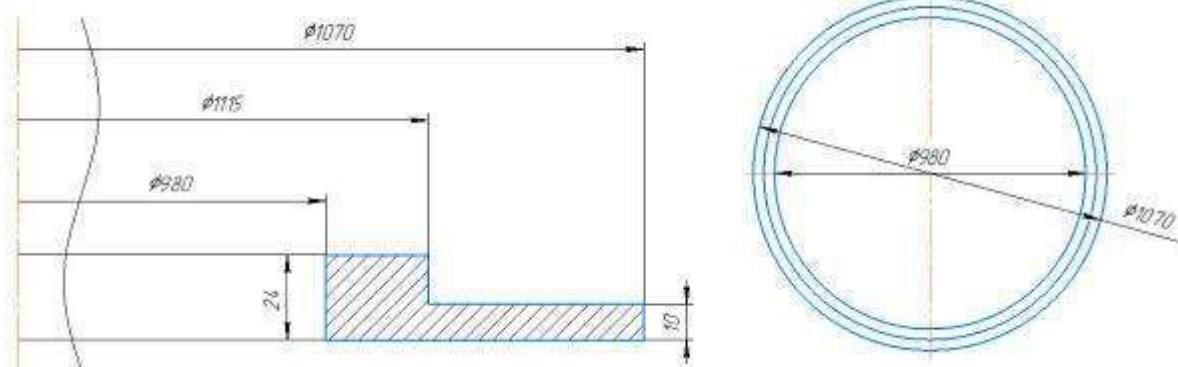


Рисунок 1.5 – Ескіз заготовки №2

Третій етап. Проводиться термообробка отриманого кільця для зміцнення, а саме гартування при 1040 °С та повне старіння при 900 °С. Параметри режиму вказано в ТУ 500ТУМ-43 [12]. По закінченню ТО, заготовка передається в наступний цех.

Четвертий етап. Виконується груба токарна обробка деталі до розмірів вказаних на рисунку 1.6. Контроль також візуальний, з використанням вимірювальних приладів. Після закінчення даного етапу деталь передається в наступний цех.

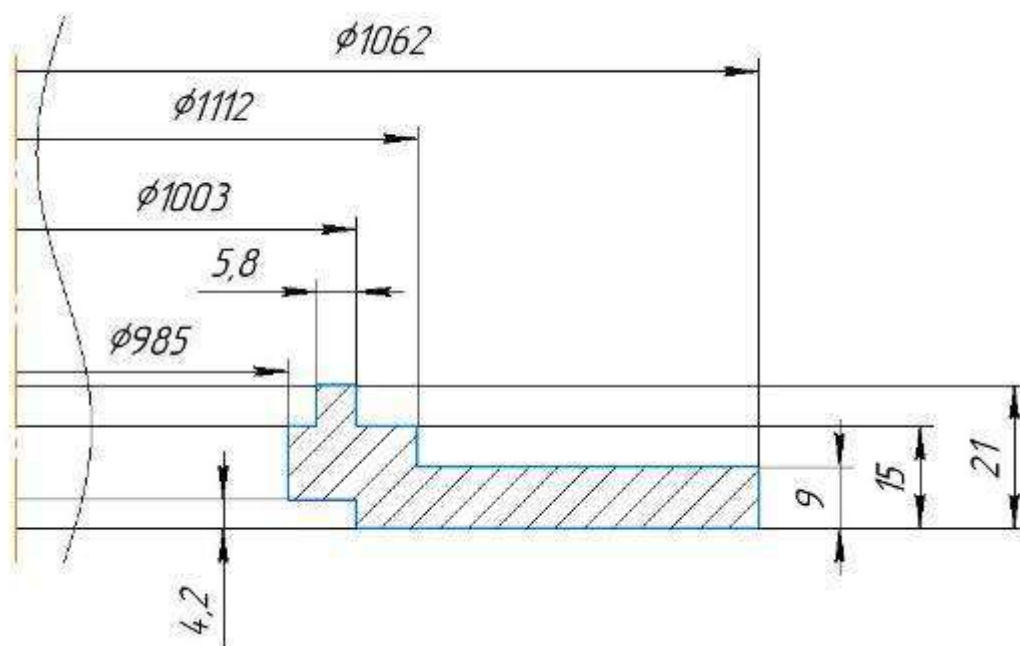


Рисунок 1.6 – Ескіз заготовки №3

П'ятий етап. Проводиться чистова токарна обробка на ЧПУ станкі до розмірів вказаних на рисунку 1.7. Контроль якості візуальний, з використанням вимірювальних приладів для контролю розмірів.

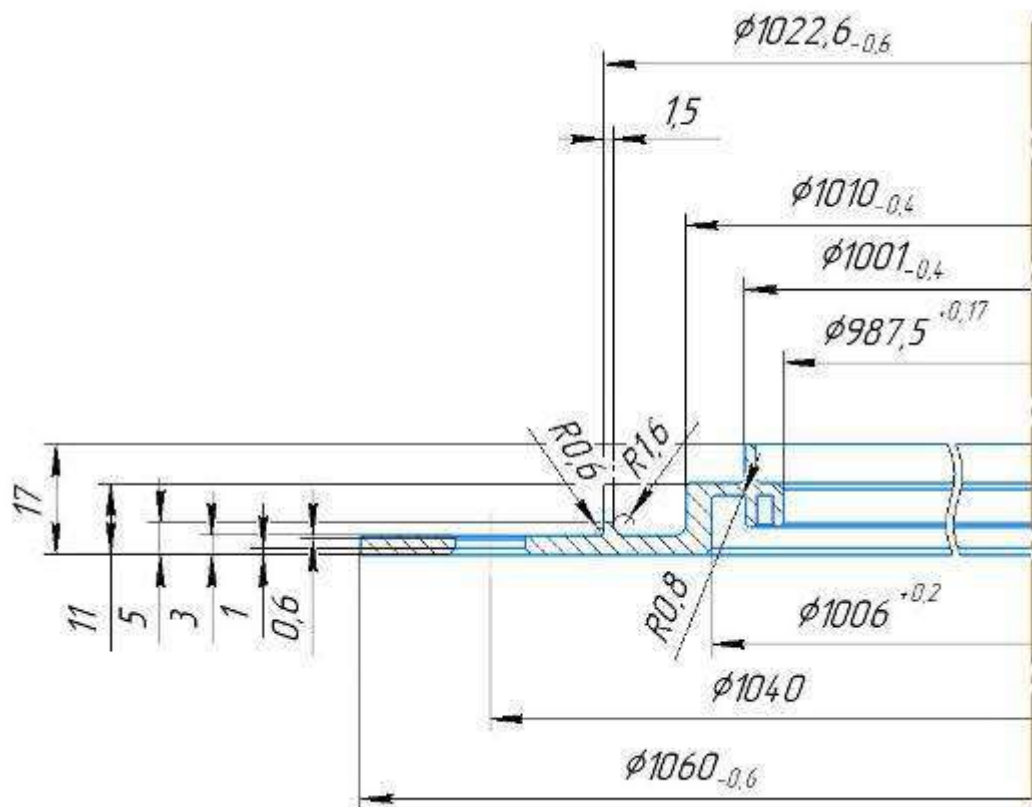


Рисунок 1.7 – Креслення готової деталі

Шостий етап. Деталь передається на розмітку, а внаслідок на свердлильний станок для виготовлення отворів та нарізання різьби (рис. 1.8). Після вихідного контролю деталь передається на склад готової продукції.

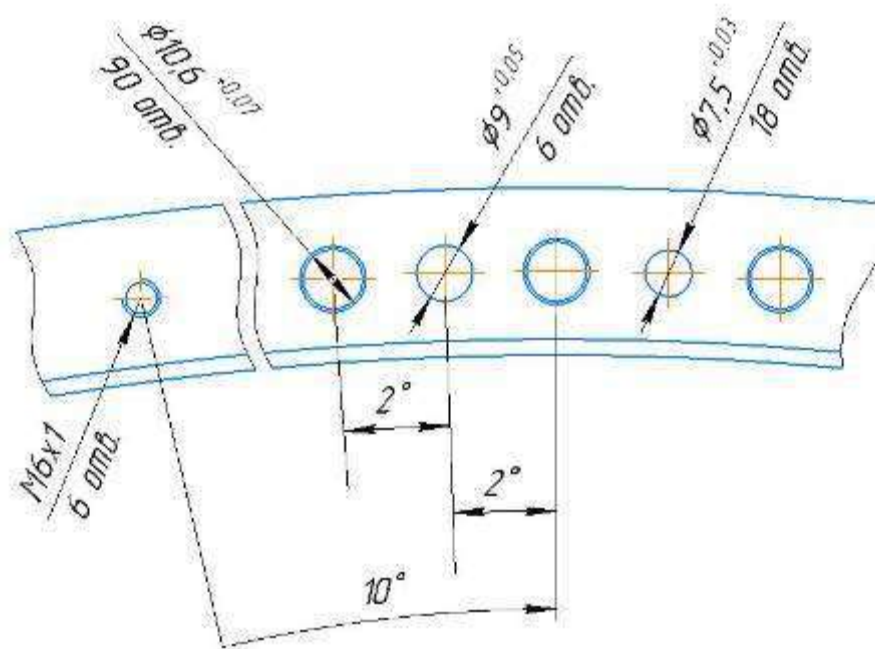


Рисунок 1.8 – Ескіз нанесення отворів

Переміщення деталі між цехами проводиться з використанням автомобілів, а в цехах за допомогою крану.

2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ КІЛЬЦЯ ВНА

2.1 Недоліки традиційної технології

Стара технологія виготовлення дуже дорога, має високу трудомісткість, займає великий проміжок часу та потребує значних витрат на підготовку оснащення та персоналу, потребує великої кількості прес-форм. Також заготовки для деталей необхідно закупати, так як їх неможливо виготовити на підприємстві.

Найбільш суттєвим недоліком традиційної технології є значні витрати металу, який в процесі механічної обробки плити, фактично перетворюється в стружку і не використовується повторно, що призводить до збільшення собівартості готового виробу.

Основна причина розробки нової технології виготовлення кільця ВНА це неможливість отримання вхідних заготовок, та як наслідок невиконання договору. Бюро зварювання отримало завдання розробити технологію виготовлення деталі, яка дозволила би вирішити проблему з дефіцитом заготовок, та позбутися недоліків традиційної технології.

В якості компромісу було запропоновано адитивне вирощування деталі мікроплазмовою наплавкою дротом з використанням зварювального робота.

Застосування адитивних технологій дозволить значно скоротити витрати матеріалу при отриманні кільцевих заготовок за рахунок виготовлення заготовки з конфігурацією максимально наближеною до геометрії деталі.

2.2 Технологічний процес виготовлення деталі методом адитивного вирощування

Було обрано пошарове вирощування заготовки з використанням програмованого робота, іншими словами – адитивні технології. Вирощування виконується шляхом плазмового напавлення за використанням цільнотягнутого дроту. Установка (рис. 2.1) складається з робота FANUC M-710iC (рис. 2.2), джерело живлення SBI PMI-350 AC/DC TL (рис. 2.3), подавальний механізм для дроту WF-1 Wirefeeder (рис. 2.4), плазмового пальника TP 200-R (рис. 2.5).



Рисунок 2.1 – Ділянка плазмового напавлення дротом



Рисунок 2.2 – Промисловий робот Fanuc M-710iC/50



Рисунок 2.3 – Джерело живлення SBI PMI – 350 AC/DC TL



Рисунок 2.4 – Подавальний механізм WF-1 Wirefeeder



Рисунок 2.5 – Плазмовий пальник TP 200-R

По цій технології деталь виготовляють по наступному алгоритму. В результаті отримуємо 2 деталі із 1 заготовки.

Перший етап. Виготовляють підкладку під наплавлення по заданим кресленням (рис. 2.6). Контроль якості: візуальний з використанням вимірювальних приладів.

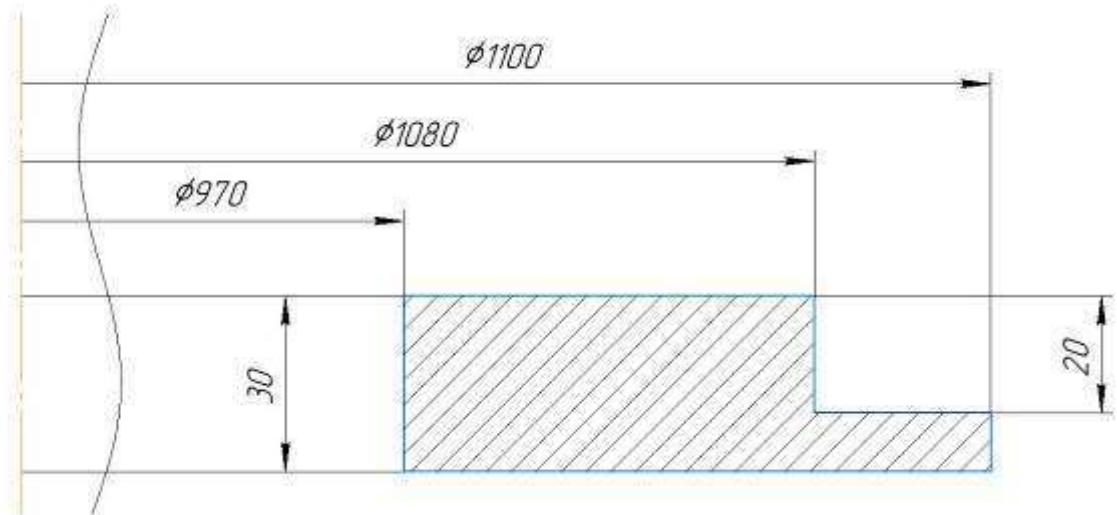


Рисунок 2.6 – Підкладка для вирощування деталі

Другий етап. Виконується наплавлення на підкладку до необхідних розмірів (рис. 2.7), параметри режиму вказано в таблиці 2.1. Перед початком процесу необхідно протерти поверхню ацетоном або спиртом. Після кожних 3 – 4 проходів необхідно дати 5 – 6 хвилин на охолодження.

Після вирощування деталей передається на грубу обробку зовнішньої поверхні в інший цех.

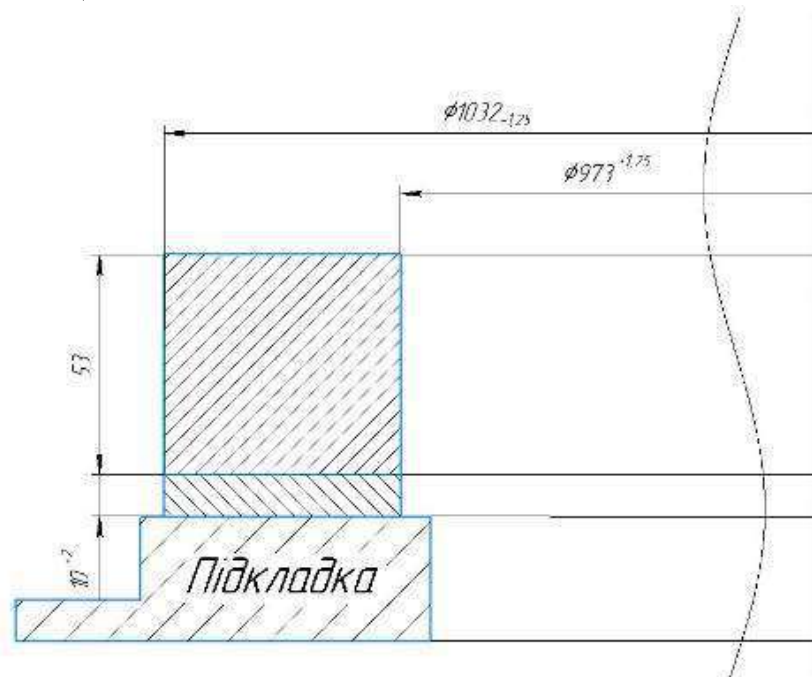


Рисунок 2.7 – Ескіз першого етапу вирощування деталі

Таблиця 2.1 – Параметри режиму наплавлення

Параметр	Значення
Діаметр присадкового дроту, мм	1
Діаметр вольфрамового електроду, мм	3,2
Діаметр плазмоутворюючого сопла, мм	2,6
Сила струму, А	Від 95 до 110
Напруга на дузі, В	Від 18 до 20
Частота імпульсу, Гц	0,8
Тривалість максимального струму імпульсу, %	70
Мінімальний струм імпульсу від основного, %	30
Швидкість подачі дроту, м / хв	0,88
Витрата захисного газу, л / хв	Від 18 до 19
Витрата плазмоутворюючого газу, л / хв	1,1
Швидкість наплавлення, мм / сек	1,5

Третій етап. Після обробки деталь наплавляють до кінця (рис. 2.8). Параметри режиму вказано в таблиці 2.1. Деталь передається в наступний цех.

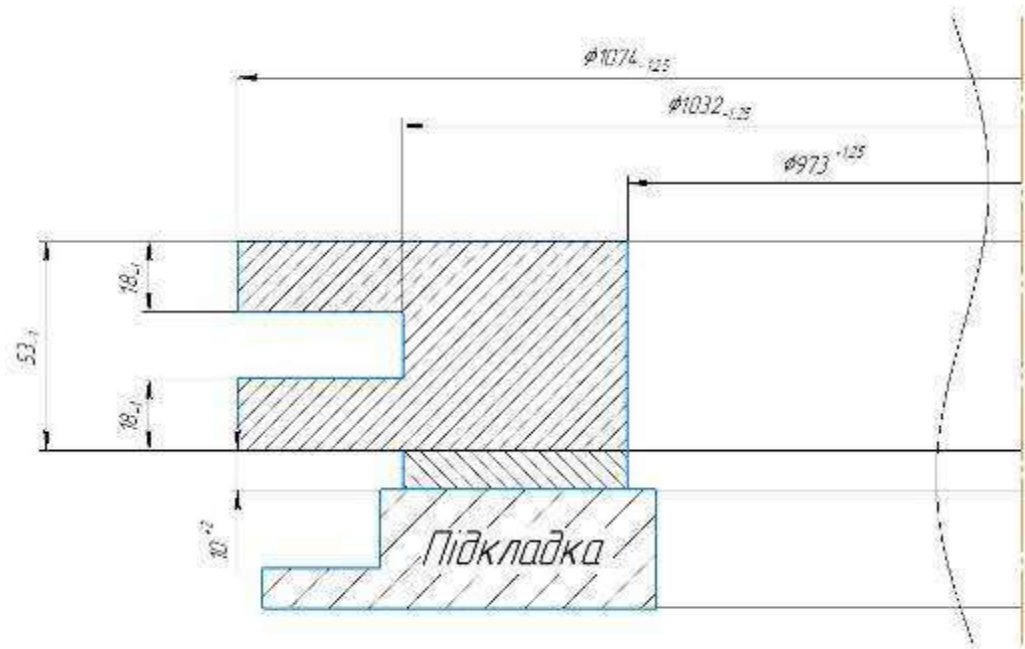


Рисунок 2.8 – Ескіз другого етапу вирощування деталі

Четвертий етап. Проводиться термообробка отриманого кільця для зняття надлишкових напружень, а саме гартування при 1040 °С та повне старіння при 900 °С. Параметри режиму вказано в 500ТУМ-43. По закінченню ТО, заготовка передається в наступний цех.

П'ятий етап. Виконується груба токарна обробка деталі до розмірів вказаних на рисунку 2.9. Контроль також візуальний, з використанням вимірювальних приладів та люм-контроль та/або рентген контроль. Після закінчення даного етапу деталь передається в наступний цех.

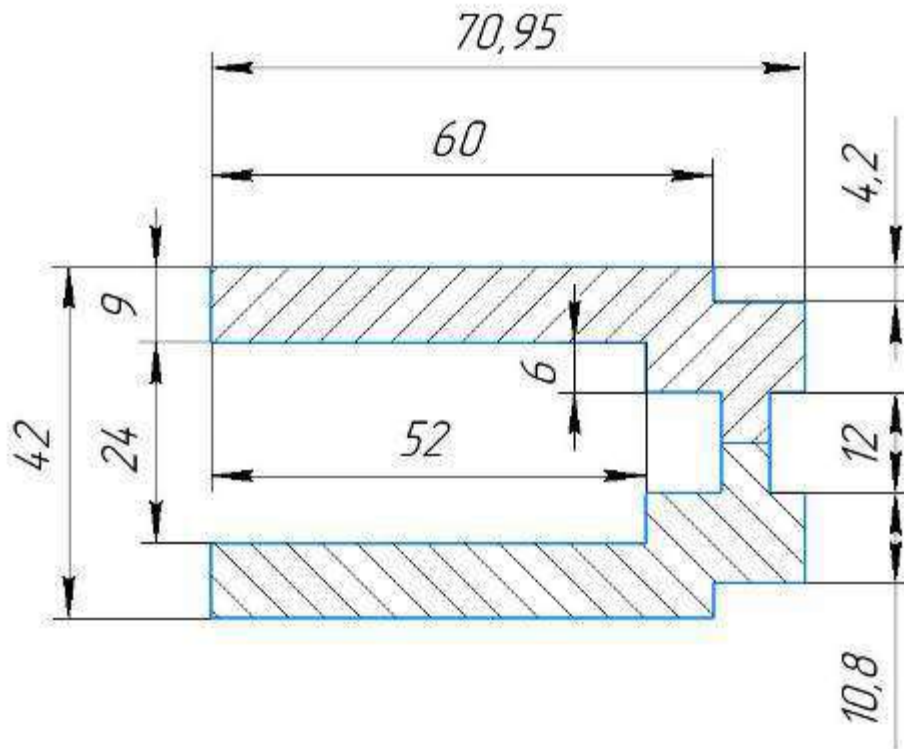


Рисунок 2.9 – Ескіз заготовки деталі перед кінцевою обробкою

Шостий етап. Проводиться чистова токарна обробка на ЧПУ станкі до розмірів вказаних на рисунку 1.7. Контроль якості візуальний, з використанням вимірювальних приладів для контролю розмірів.

Сьомий етап. Деталь передається на розмітку, а внаслідок на свердлильний станок для виготовлення отворів та нарізання різьби (рис. 1.8). Після вихідного контролю деталь передається на склад готової продукції.

Ця технологія дозволить зменшити матеріальні витрати та трудомісткість на виготовлення деталі.

2.3 Суть процесу адитивного вирощування

Протягом останніх десятиліть технології пошарового наплавлення, також відомі як адитивні технології (АТ), набули широкого розповсюдження та охопили багато різних методів і типів матеріалів. Назва «адитивне виробництво» пішло від латинського ADD Manufacturing, що перекладається як технологія додавання або вирощування. Методи наплавлення вдають із себе групу нових технологій, які дозволяють створити функціональний тривимірний об'єкт з різних матеріалів, так само включаючи алюмінієві сплави, шляхом пошарового нанесення матеріалу до досягнення кінцевої форми [13].

У порівнянні з традиційними методами отримання металевих виробів, пошарове наплавлення надає можливість виробляти фасонні об'єкти з майже необмеженою геометрією безпосередньо з порошкового металу або дроту. Даним методом також можна виробляти вироби з меншою вагою шляхом зменшення розмірів заготовки деталі, виробляти одразу готові вузли що значно спрощує процес збирання виробу, дозволяє зменшити кількість необхідного оснащення. Виробництво нових технологій деталей цим методом не вимагає значних витрат на підготовку та оснащення, як в ливарному виробництві. Це стосується й жароміцних сплавів.

Недоліком процесу є повільна швидкість вирощування. Це уповільнює потенціал масового виробництва. Тому виготовлення разових деталей є найбільш перспективним напрямком використання АТ.

Найбільш розповсюдженими матеріалами для виготовлення деталей методом пошарового наплавлення є порошок та цільнотягнутий дріт. Деталі виготовлені дротом набирають розповсюдження, оскільки мають вищу продуктивність, що дозволяє отримати серійні деталі в строк.

Аналіз ринку показує суттєве зростання виробництва АТ (рис. 2.10) [14].

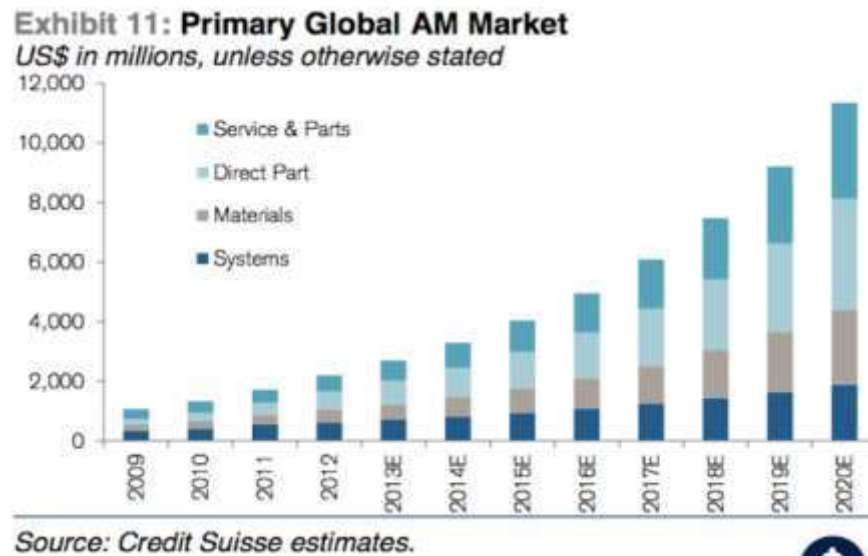


Рисунок 2.10 – Зростання ринку адитивних технологій з 2013 до 2020 р [14].

Розвиток технології пошарового наплавлення потребував створення нових стандартів і вимог, тому було створено новий стандарт: ISO/ASTM 52900:2015, в якому було встановлене визначення для поняття адитивні технології: процес з'єднання матеріалів для створення деталей за даними 3D-моделі,пошарово [15].

В даному стандарті дано визначення різних видів адитивних технологій виготовлення деталей:

- Directed Energy Deposition (DED) – метод прямого вирощування процес АТ, в якому сфокусована теплова енергія (наприклад, лазер, електронний промінь, електрична дуга або плазмова дуга) використовується для плавлення дротяних або порошкових матеріалів шляхом плавлення і затвердіння.

- Powder Bed Fusion (PBF) – процес АТ, в якому теплова енергія вибірково з'єднує області порошкового шару, найбільш широко відомі як селективне лазерне спікання (SLS), або електронно-променеве плавлення (EBM).

- Sheet Lamination (SL) Ламінування листа – процес АТ, в якому шари матеріалу з'єднані при утворенні об'єкта з використанням ультразвукового зварювання для створення твердотілих зв'язків між послідовними шарами металевої фольги [15].

В процесі розробки нової технології було проведено порівняльний аналіз методів наплавлення з використанням порошку та дроту.

Для процесу з використанням порошків характерна низька швидкість вирощування, порівняно з дротом. Але в той же час деталі вирощені з використанням дроту мають меншу точність, та більшу витрату матеріалу.

Загалом, можна зробити висновок, що АТ будуть користуватися найширшим сортаментом дроту в порівнянні з порошками.

В роботі [16] сказано, що «порошки SLS мають проблеми безпеки», тому що «дихати дрібними частинками, такими як нікель, може бути небезпечним для здоров'я», а також, що «дихальні апарати та вентиляцію слід розглядати в залежності від типу порошку». Крім того, існує небезпека пов'язана з легкозаймистістю порошків.

Швидкість отримання деталей методом порошкового вирощування варіюються від 0,3 кг до 1 кг металу на годину, в залежності від обраного матеріалу і характеристик деталей, що робить його одним з найбільш продуктивних процесів. Максимальна швидкість подачі дроту становить 48 г / хв, що відповідає 2,9 кг на годину [17].

Вирощування дротом дозволяє виробляти високоякісні великогабаритні металеві конструкції довжиною понад 6 метрів з мінімальною кількістю відходів. При використанні металевих порошків для отримання деталі зазвичай потрібно в 5 разів більше обсягу порошку, при цьому основна частина матеріалу не використовується через його просипання. Використаний порошок є не придатним для повторного використання і підлягає утилізації. У зв'язку, з чим процеси подачі дроту є більш екологічно чистими через майже 100 % ефективності використання дроту у зварювальній ванні [18].

Таблиця 2.2 – Порівняльний аналіз методів вирощування деталей з порошку та дроту зі сплаву ЕП648ВІ [19]

Параметр	Порошок	Дріт
Вартість матеріалу	4300 грн / кг	3500 грн / кг
Безпека під час процесу вирощування	Є загроза потрапляння в дихальні шляхи, легко займаються. Також загрозу складають традиційні небезпеки для зварювальних процесів.	Загрозу створюють традиційні джерела небезпеки зварювальних процесів
Швидкість вирощування	До 500 г / год	До 2000 г / год
Точність	0,001 мм	Від 0,3 мм до 1 мм
Використання матеріалу	Просипання порошку під час процесу складає від 10 % до 15 %. Також втрати на вигорання та розбрикування матеріалу.	Майже 100 % використання матеріалу за виключенням вигорання та розбрикування.
Подальша обробка	Механічна обробка. За необхідністю проведення ТО.	Механічна обробка. За необхідністю проведення ТО.
Вартість обладнання	Від 300 000 грн	Від 100 000 грн

Таким чином, так як використання порошків має досить високу вартість, використання дроту більш доцільно. Тому що вартість дротів менше, а продуктивність вище, порівняно з порошками. Через просипання порошку на

виготовлення деталі необхідно в 3 – 5 разів більше порошку, при цьому порошок, що просипався, є непридатним для повторного використання.

Дроти в якості присадкового матеріалу використовуються у поєднанні з лазерними, електронно-променевими, електродуговими та мікроплазмовими методами нагріву. Системи адитивного вирощування з використанням дротів (WAAM), в яких у якості джерела нагріву використовується лазер, мають наступний принцип роботи, дріт за допомогою механізму подачі подається через форсунку, далі лазер розплавляє дріт в середовищі інертного газу. Цей процес забезпечує високу продуктивність в порівнянні з мікроплазмовим порошковим наплавленням [25].

Однак використання лазерних та електронно-променевих джерел нагріву для методу WAAM залишається менш поширеним у порівнянні з дуговими джерелами нагріву, такими як електрична і плазмова дуга, що можна пояснити вищою вартістю і коштовністю обслуговування лазерних оптичних систем [25].

Використання електродугового наплавлення WAAM без використання СМТ має високе тепловиділення процесу і, як наслідок, низькі швидкості охолодження, що зазвичай призводить до формування грубих стовпчастих зерен і анізотропії. Більш того, в процесі WAAM, міжшарова температура – це температура попереднього наплавленого шару безпосередньо перед наплавленням нового, і вона має велике значення для кінцевих властивостей деталі [26].

Час, необхідний для охолодження деталі до потрібної температури, може привести до того, що загальний час виробництва внаслідок часу простою може збільшитись.

Дослідження режиму наплавлення, – холодного перенесення металу зі змінною полярності, де імпульсна дугова енергія призводить до коливання дуги, яке у зв'язку зі змінними значеннями полярності руйнує дендрити, створюючи гетерогенні центри зародкоутворення. Типові стовпчасті зерна перетворюються в рівновісні, і спостерігається ефект подрібнення зерна, але

через наявність міжшарових пір можлива тільки 8-відсоткова різниця в граничній міцності на розрив від горизонтальних і вертикальних зразків [27].

2.4 Суть процесу плазмового вирощування цільнотягнутим дротом

Окрім СМТ наплавлення, поширеним процесом є процес мікроплазмового наплавлення. В процесі застосовується вольфрамовий електрод, що не плавиться, для створення електричної дуги використовується плазмоутворюючий газ. Метод набув широкого поширення завдяки своїй високій точності, малою кількістю дефектів, що забезпечується високою стабільністю дуги [28].

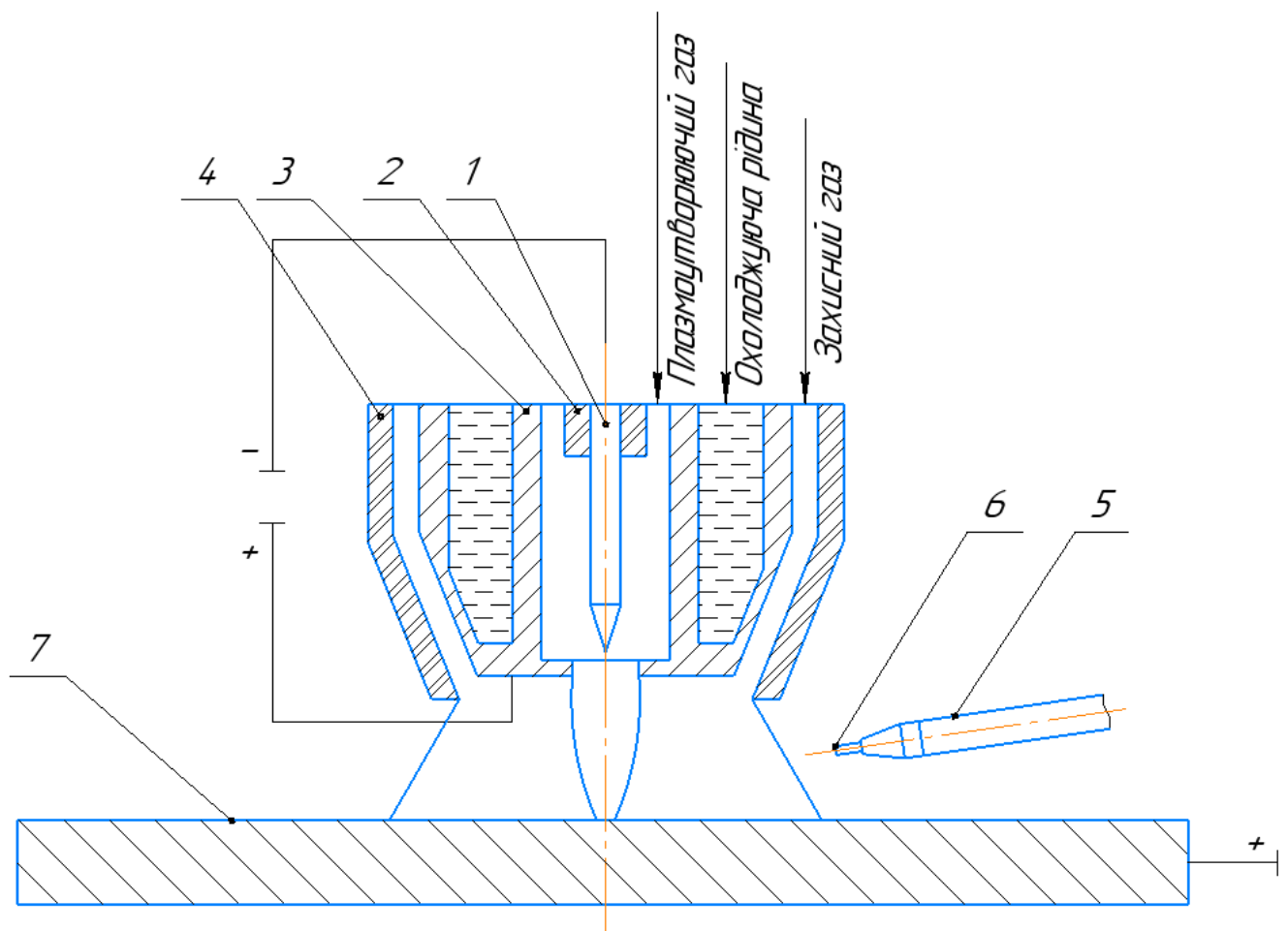
Плазма – високотемпературний сильно іонізований газ, що складається з молекул, атомів, іонів, електронів та ін. При дуговій іонізації газ пропускають через канал і створює дуговий розряд, тепловий вплив якого іонізує газ, а електричне поле створює направлений струмінь. Плазмова дуга утворюється в спеціальних пальниках – плазмотрон. Катодом є вольфрамовий електрод [29].

В залежності від компоновки розрізняють [30]:

- відкритий плазмовий струмінь (анодом є деталь або пруток). В цьому випадку відбувається підвищений нагрів деталі. Використовується для різки металу і для нанесення покриттів.

- закритий плазмовий струмінь (анодом є сопло або канал пальника). Хоча температура стисненої дуги на від 20 % до 30% вище, але інтенсивність потоку нижче, так як підвищується тепловіддача в навколишнє середовище. Схема використовується зазвичай для гартування, металізації і напилення порошками.

- комбінована схема (анод підключається до деталі і до сопла пальника). В такому випадку горять дві дуги. Схема використовується при наплавці порошком і дротом.



1 – вольфрамовий електрод; 2 – керамічний ізолятор; 3 – мідне сопло; 4 – керамічне сопло; 5 – подаючий наконечник; 6 – присадний дріт; 7 – основний матеріал.

Рисунок 2.11 – Схема процесу плазмового вирощування дротом

Електрична дуга горить між неплавким електродом (1), навколо якого тече плазмоутворюючий газ (аргон), і поверхнею деталі (7), та мідним соплом (3), яким вона геометрично стискається. Утворюється плазмова дуга (промінь), яка має більш високу щільність енергії ніж в інших видах зварювання (TIG/MIG). Дана технологія також відома під назвою «аргонодугове зварювання стисненою дугою».

Завдяки високосконцентрованій дузі у поєднанні з контрольованим плазмогоазом досягається досить висока швидкість наплавлення та вузькі зони

термічного впливу, що приводить до менших теплових деформацій наплавлюваної деталі. При цьому на відміну від лазерного наплавлення, плазмове – не пред'являє серйозних вимог до фокусування джерела тепла. Також плазмове наплавлення має меншу вартість порівняно з лазерним.

Основними перевагами плазмового наплавлення є [31]:

- Висока концентрація теплової потужності і мінімальна ширина зони термічного впливу.
- Можливість отримання товщини наплавленого шару від 0,1 до декількох міліметрів.
- Можливість наплавлення різних матеріалів (мідь, латунь, пластмас) на сталеву деталь.
- Можливість виконання плазмового гартування поверхні деталі.
- Відносно високий ККД дуги (від 0,2 до 0,45).
- Мале (порівняно з іншими видами наплавлення) перемішування наплавляемого матеріалу з основним, що дозволяє досягнути необхідних характеристик наплавленого шару.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗРАЗКІВ ІЗ СПЛАВУ ЕП648-ВІ (ХН50ВМТЮБ), ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ АДДИТИВНОГО ВИРОЩУВАННЯ

Для дослідження якості і властивостей матеріалу було виготовлено зразки розміром 140 мм × 80 мм × 14 мм із сплаву ЕП648-ВІ, отримані методом прямого вирощування пламовою наплавкою дротом. Режими вирощування представлені в таблиці 3.1.

Зразки виготовлені на роботизованій установці, в склад якої входить робот FANUC M-710iC (Японія) та джерело живлення SBI PMI-350 AC/DC TL (Австрія).

Таблиця 3.1 – Режими вирощування зразків із сплаву ЕП648-ВІ

Параметри режиму	Значення
Діаметр присадного дроту, мм	1
Діаметр вольфрамового електроду, мм	3,2
Сила струму, А	Від 75 до 90
Швидкість зварювання, мм / с	Від 1,2 до 1,6
Швидкість подачі дроту, м / хв.	0,9
Діаметр плазмо утворюючого сопла, мм	2,6
Витрата плазмо утворюючого газу, л / хв.	1
Витрата захисного газу, л / хв.	12
Крок наплавлення, мм	2,5

Продовження таблиці 3.1

Параметри імпульсу	
Частота, Гц	0,8
Струм паузи, А	30 % $I_{зв}$

Дослідження якості матеріалу зразків, вирощених плазмовим наплавленням дротом проводилося макро- та мікроструктурним аналізом шліфів до та після термообробки (ТО) виконаної за серійним режимом застосовуваного для сплаву ЕП 648-ВІ для підприємства: загартування 1140 °С, витримка 1 годину, старіння 900 °С, витримка 16 годин охолодження на повітрі [12]. Також проводилась перевірка механічних властивостей зразків.

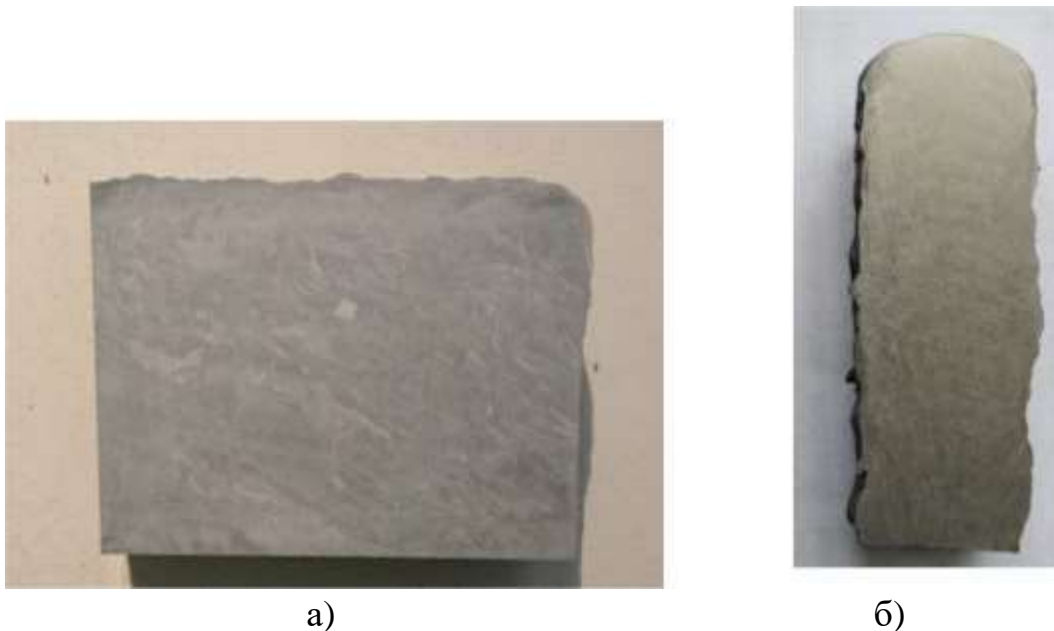
Зовнішній вигляд одного з вирощених зразків, що поступив на дослідження, представлено на рис. 3.1.



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд вирощеного зразку

3.1 Макроструктурний аналіз зразків

Макроструктурний аналіз проводився на шліфах, виготовлених з вирощених зразків у поздовжньому та поперечному напрямку після травлення у реактиві ФРІ [20]. Макроструктура зразків до і після термообробки, має шарувату будову з зонами сплавлення, що рівномірно чергуються, характерна для багатошарового наплавлення (рис. 3.2). Як у поздовжньому, так і в поперечному напрямку спостерігаються витягнуті зерна у напрямку відведення тепла при вирощуванні.



а – повздовжній напрямок; б – поперечний напрямок

Рисунок 3.2 – Макроструктура вирощених зразків

3.2 Мікроструктурний аналіз зразків до термообробки

Мікроструктурний аналіз проводився на шліфах, виготовлених у поздовжньому та поперечному напрямку.

Дослідження шліфів після травлення в реактиві для електротравлення жароміцних сплавів (H_3PO_4 – 800 мл + CrO_3 – 100 мл) [20] показало, що мікроструктура вихідних зразків (до термообробки) має дендритну будову з витягнутими зернами в напрямку відведення тепла поперек шарів (рис.3.3), представляє собою γ -твердий розчин з наявністю карбідів та нітридів, розташованих упорядковано у напрямку відведення тепла у процесі вирощування, перегріву не виявлено. У мікроструктурі лінії сплавлення не проглядаються, структура є однорідною із взаємним проростанням зерен між шарами [21].

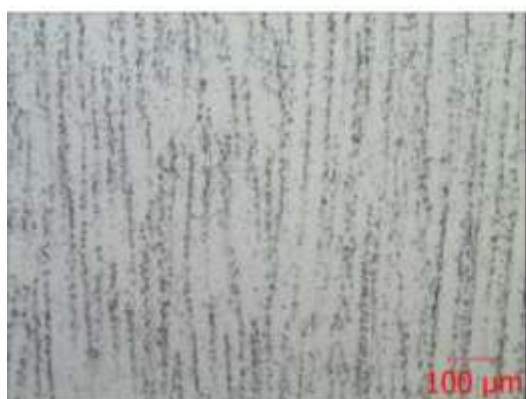
В мікроструктурі матеріалу присутні накопичення карбідів по межах зерен, що характерно для даного сплаву (рис. 3.4).



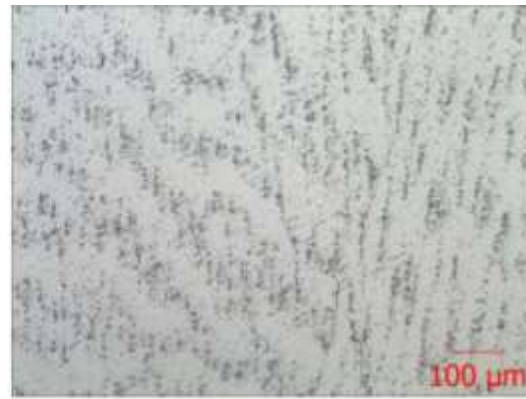
а – поперечний, $\times 50$



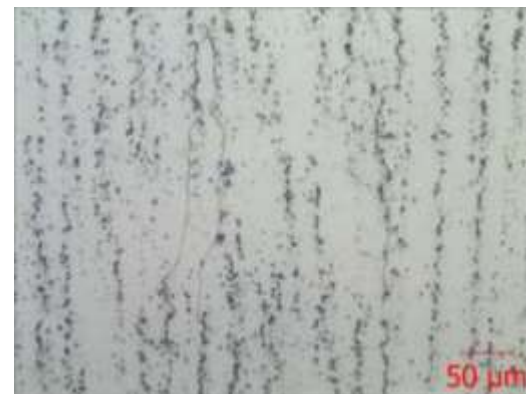
б – повздовжній, $\times 50$



в – поперечний, $\times 100$



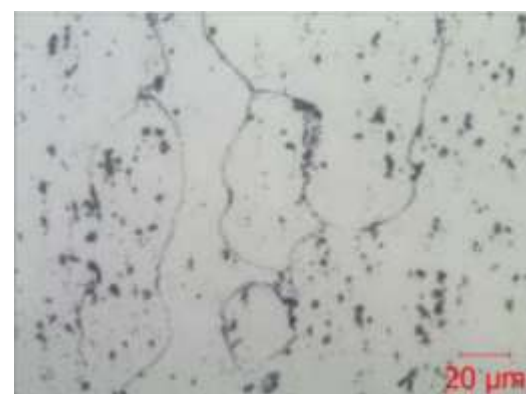
г – повздовжній, $\times 100$



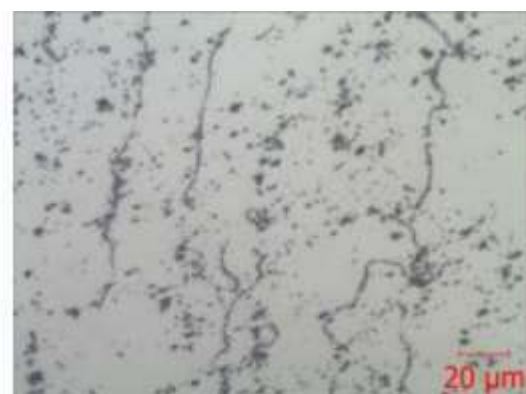
д – поперечний, $\times 200$



е – повздовжній, $\times 200$



є – поперечний, $\times 500$



ж – повздовжній, $\times 500$

Рисунок 3.3 – Структура зразків до термообробки

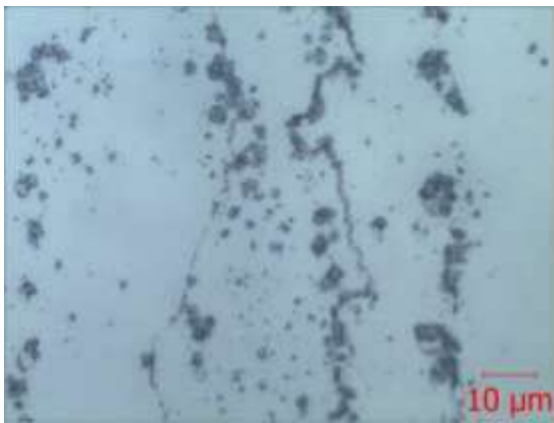
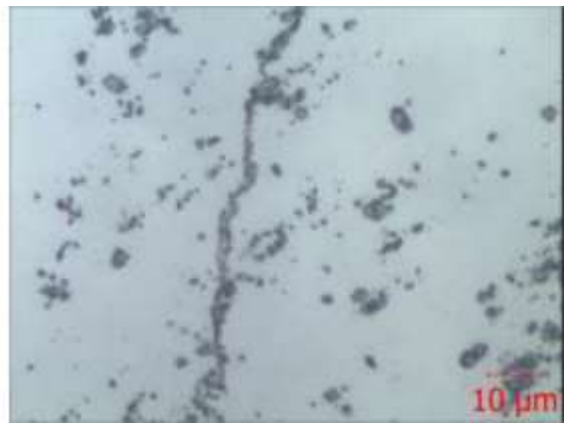
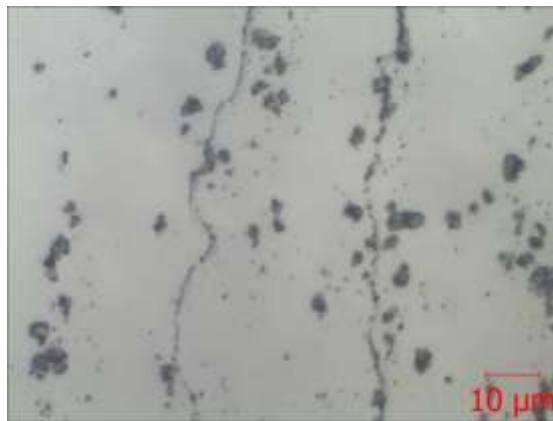
а – поперечний, $\times 1000$ б – повздовжній, $\times 100$ в – поперечний, $\times 1000$

Рисунок 3.4 – Накопичення карбідів по межах зерен

3.3 Мікроструктурний аналіз зразків після термообробки

Металографічне дослідження нетравлених шліфів показало, що метал зразків щільний, у полі зору виявлено наявність одиничних мікропор та раковин розміром до 58 мкм (рис. 3.5). Дефектів металургійного характеру як несплавлень і тріщин не виявлено [21].

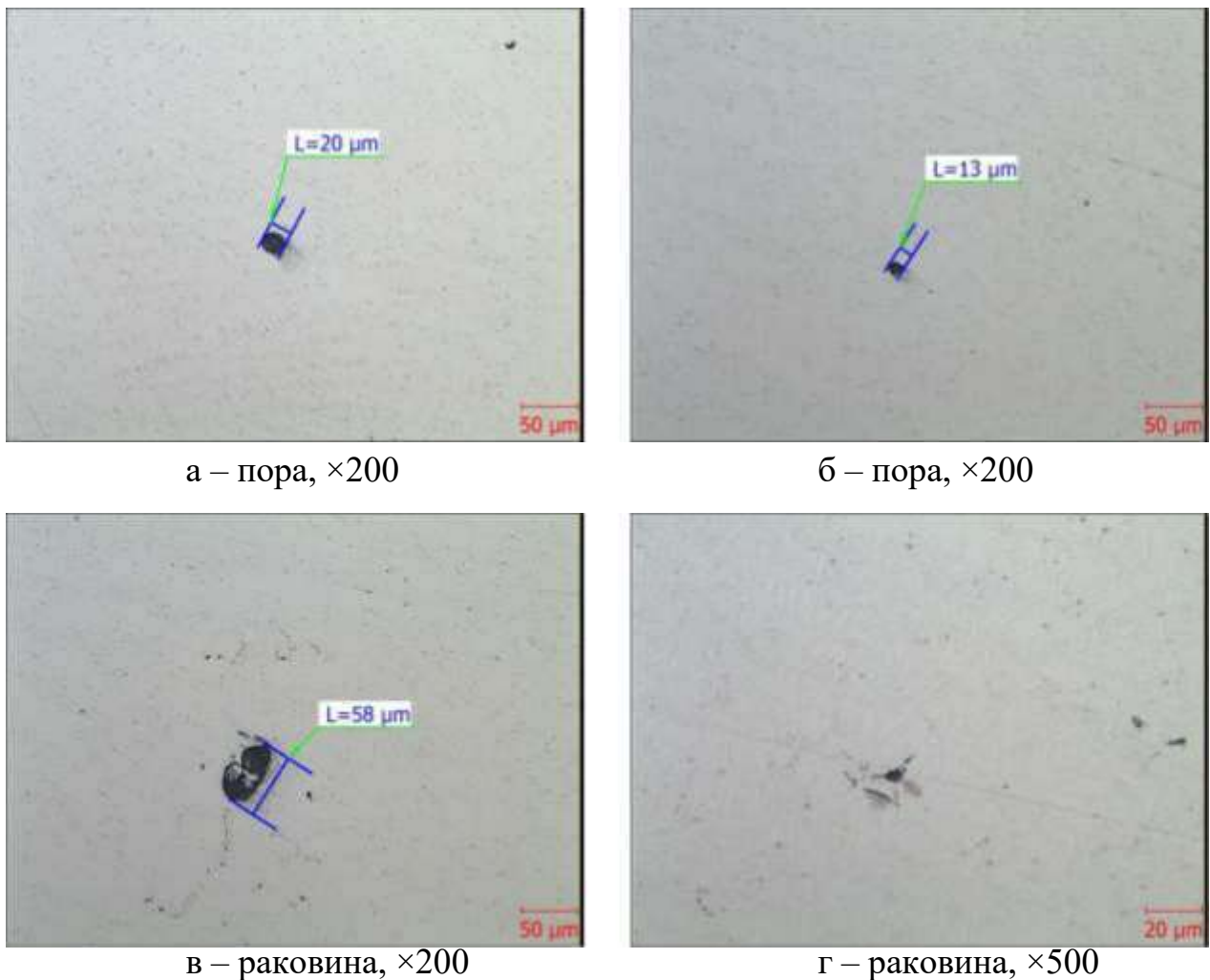


Рисунок 3.5 – Нетравлені шліфи

Дослідження травлених шліфів у реактиві для електротравлення жароміцних сплавів (H_3PO_4 – 800 мл + CrO_3 – 100 мл) [20] виготовлених у поздовжньому та поперечному напрямку, показало, що мікроструктура зразків після термообробки дендритної будови з витягнутими зернами у напрямку відводу тепла (рис. 3.6), являє собою γ - твердий розчин з наявністю інтерметалідів, карбідів, нітридів та часток голкової морфології надлишкової фази на основі хрому (α - Cr), яка виділилася при старінні.

Присутня та ж спрямованість їх розташування у напрямку відведення тепла у процесі вирощування (поперек шарів) як і до термообробки. У мікроструктурі лінії сплавлення не проглядаються, структура є однорідною із взаємним проростанням зерен між шарами [21]. Мікроструктура відповідає

нормальному термообробленому стану сплаву ЕП 648-ВІ, перегріву не виявлено (рис. 3.6).

Так само, як і до термообробки на зразках присутні скупчення карбідів за межами зерен (рис. б, д, е, є, ж), що характерно для нікелевих сплавів.

При порівняльному аналізі мікроструктури вирощеного зразка аддитивним методом з мікроструктурою литого сплаву ЕП 648-ВІ (ВХ4Л) встановлено, що структура вирощеного зразка не має істотної відмінності від литої структури. (рис.3.7).

Додатково були зроблені мікрошліфи зварювального дроту в поздовжньому та поперечному напрямку. Мікроструктура зварювального дроту представляє собою γ -твердий розчин з наявністю нітридів і карбонітридів витягнутих у напрямку протяжки (рис. 3.8) [21].



а – поперечний, $\times 100$



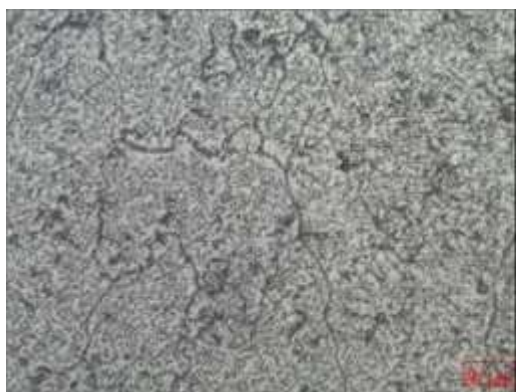
б – повздовжній, $\times 100$



в – поперечний, $\times 200$



г – повздовжній, $\times 200$



д – поперечний, $\times 500$



е – повздовжній, $\times 500$



є – поперечний, $\times 1000$



ж – повздовжній, $\times 1000$

Рисунок 3.6 – Структура зразків після термообробки



а – поперечний, $\times 200$



б – повздовжній, $\times 200$



в – повздовжній, $\times 500$



г – повздовжній, $\times 1000$

Рисунок 3.7 – Мікроструктура литого сплаву ВХ4Л



а – поперечний, $\times 500$



б – повздовжній, $\times 500$

Рисунок 3.8 – Структура зварювального дроту (шліфи нетравлені)

3.4 Перевірка механічних властивостей

Механічні властивості сплаву ЕП 648-ВІ отриманого методом адитивного вирощування плазмовим наплавленням дротом визначали на стандартних циліндричних зразках за «ISO 6892-84 Метали. Методи випробувань на розтяг» [22], «ДСТУ ISO 204:2019 Металічні матеріали. Одновісні випробування на повзучість розтягом» [23]. Зразки вирізали в поздовжньому та поперечному напрямку щодо шарів вирощування (рис. 3.9) після термічної обробки за вказаним вище режимом.

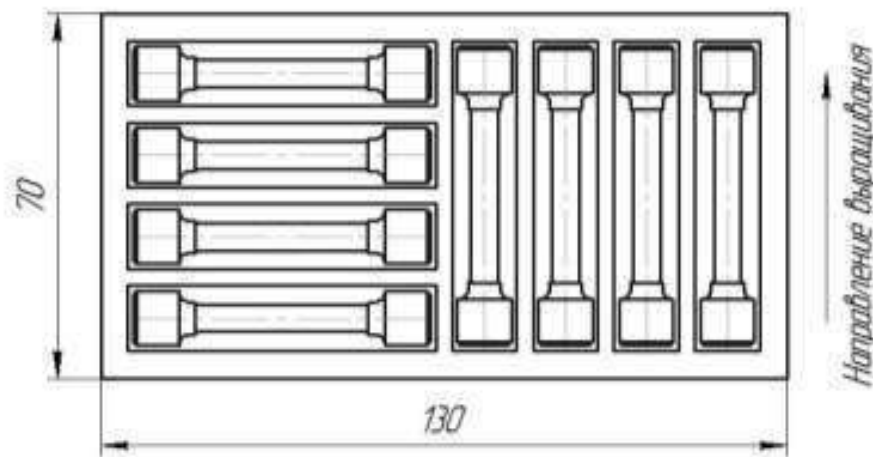


Рисунок 3.9 – Схема вирізки зразків для механічних випробувань

На виготовлених зразках визначалися механічні властивості (σ_B , $\sigma_{0,2}$, δ) при кімнатній температурі та тривала міцність.

Результати механічних випробувань при кімнатній температурі (Протокол лаб. мех. випробувань № 82 від 01.02.21 р., Протокол лаб. мех. випробувань № 177 від 17.02.21р.) оброблені та представлені в таблиці 3.2.

Для порівняння в таблиці 3.2 наведено норми ТУ та режими термообробки серійного напівфабрикату, що виготовляється у вигляді прутків та лиття зі сплаву ЕП648-ВІ.

Таблиця 3.2 – Механічні властивості вирощених зразків при $T = 20^{\circ}\text{C}$

ТУ (Вид напівфабрикату)	Режими ТО	$\sigma_{\text{в}}$, кгс / мм ²	$\sigma_{0,2}$, кгс / мм ²	δ , %
Вирощений зразок плазмовою наплавкою дротом	Гартування $T = 1140^{\circ}\text{C}$, витримка 1 година, старіння 900°C , охолодження 16 годин на повітрі	Повздовжній напрямок		
		93,3	63,9	10
		87,2	68,8	6
		79,2	63	7
		90,3	67,8	10
		94,1	75,7	8
		84,7	64,2	4
		88,1	67,2	7,5
		Поперечний напрямок		
		97,8	62,9	19,2
		83,3	62	10
		88,1	61,3	8
		93,5	66,8	19,2
		99,7	70,1	25,2
92,5	64,6	16,3		
Норми ТУ 14-1-3046-97 (Прутки)	Гартування $T = 1140 \pm 10^{\circ}\text{C}$, витримка 1 година, старіння $900 \pm 20^{\circ}\text{C}$, охолодження 16 годин на повітрі	≥ 80	≥ 35	≥ 25

Продовження таблиці 3.2

<p style="text-align: center;">Норми ОСТ 1 90126-85 (Лиття ВХ4Л)</p>	<p style="text-align: center;">Гартування</p> <p style="text-align: center;">T = 1180 ± 15 °С, витримка 1 година, старіння 900 ± 10 °С, охолодження 16 годин на повітрі</p>	≥ 80	-	≥ 4
------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------	---	-----

Примітка: Жирним шрифтом в таблиці приведено середнє значення параметру.

З даних, поданих у таблиці 3.2 видно, що:

- властивості міцності (σ_b , $\sigma_{0,2}$) при кімнатній температурі відповідають вимогам ТУ 14-1-3046-97 (Прутки) [10], ОСТ 1 90126-85 (Лиття ВХ4Л) [24];

- пластичні властивості (δ) при кімнатній температурі відповідають вимогам ОСТ 1 90126-85 (Лиття ВХ4Л), але знаходять нижче вимог ТУ 14-1-3046-97 (Прутки) на 70 % у поздовжньому напрямку та на 35 % у поперечному напрямку;

- міцнісні властивості (σ_b , $\sigma_{0,2}$) зразків у поздовжньому та поперечному напрямку знаходяться приблизно на одному рівні, присутня невелика відмінність (~ від 4 % до 5 %). При цьому спостерігається більша до (~ 54 %) відмінність пластичних властивостей (δ) в поздовжньому і поперечному напрямку.

За рекомендацією ДП «Івченко-Прогрес» було проведено випробування на тривалу міцність за температури 450 °С.

Результати випробувань на тривалу міцність (Протокол жароміцної лабораторії № 859 від 26.05.21 р.) опрацьовано та подано в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати випробувань на тривалу міцність вирощених зразків

Зразок	Температура випробувань, °С	Навантаження, кгс / мм ²	Витримка, годин	Примітка
Повздовжній	450	73	100	Знятий
Повздовжній	450	73	100	Знятий
Повздовжній	450	73	100	Знятий
Поперечний	450	73	100	Знятий
Поперечний	450	73	100	Знятий
Поперечний	450	73	100	Знятий
Рекомендація ГП «Івченко - Прогрес» КНІК	450	73	100	-

Тривала міцність вирощених зразків у поздовжньому та поперечному напрямку відповідає рекомендації ДП «Івченко-Прогрес» КНІК.

Візуальний огляд зразків після випробування за кімнатної температури показав, що поверхня всіх зразків у процесі пластичної деформації змінилася, стала хвилястою з різним ступенем потоншення. Зразки зруйновані з утворенням шийки, що свідчить про пластичну руйнацію. Зовнішній вигляд зразків після механічних випробувань представлений рисунку 3.10.



Рисунок 3.10 – Зовнішній вигляд зразків після випробувань при кімнатній температурі

Під час огляду зламів розривних зразків за допомогою бінокулярного мікроскопа дефектів металургійного характеру не виявлено (рис. 3.11), злами мають ямковий характер.



а – повздовжній, $\times 12,5$



б – поперечний, $\times 12,5$

Рисунок 3.11 – Зовнішній вигляд зламів розривних зразків

На фрактограмах зламів розривних зразків, одержаних на електронному мікроскопі видно пористу структуру поверхні зламів (рис. 3.12), характерна для пластичних матеріалів.

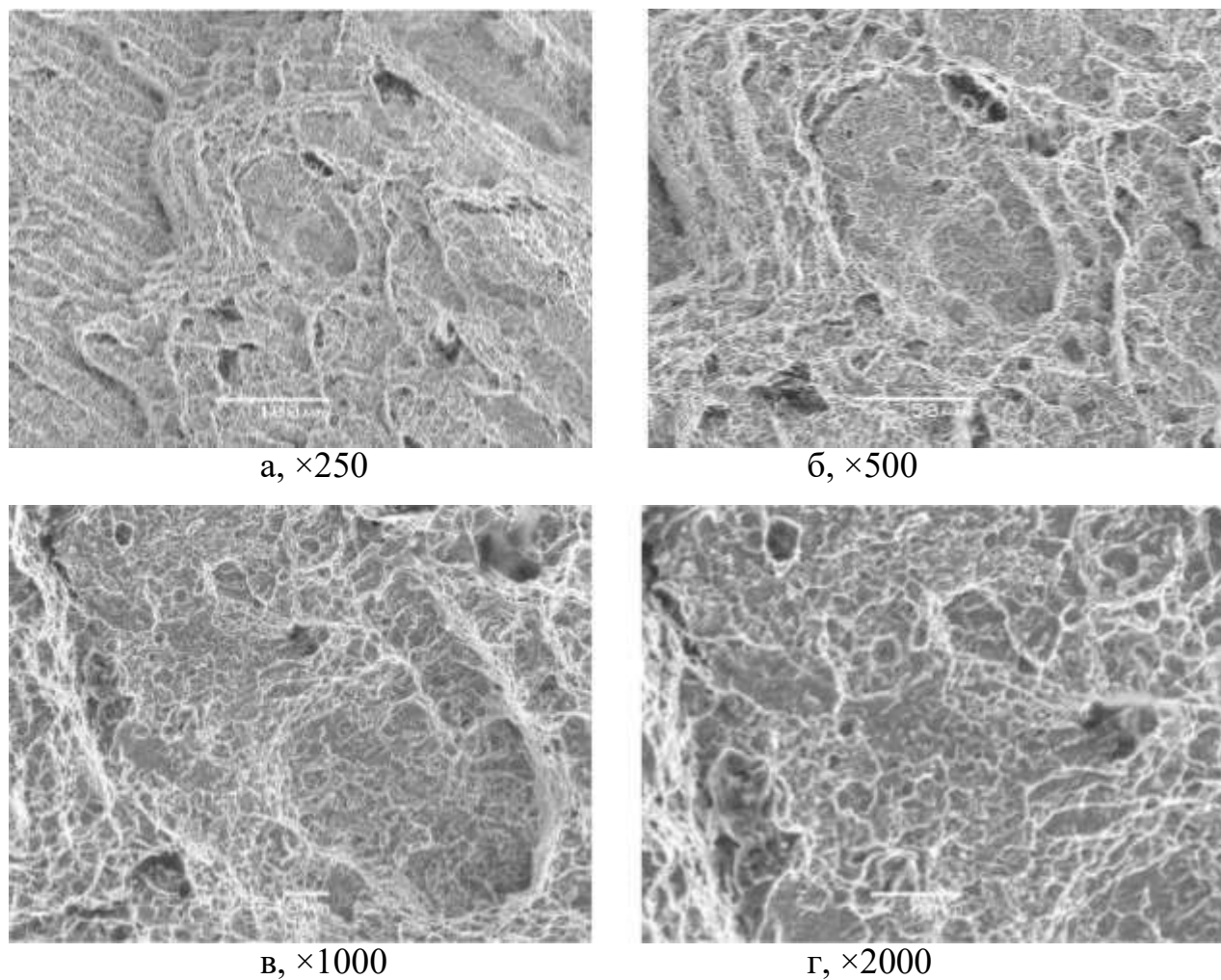


Рисунок 3.12 – Фрактограми зламів розривних зразків

Згідно з даними кількісного спектрального аналізу, матеріал зразків вирощених методом адитивного вирощування відповідає сплаву ЕП 648-ВІ (Протокол спектр. лаб. № 41 від 01.04.21 р.), результати перевірки представлені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати спектрального аналізу сплаву ЕП648-ВІ

Вид напівфабрикату	Склад елементів, мас %									
	Ni	Cr	W	Ti	Mo	Nb	Si	Mn	Fe	Al
Вирощений зразок	Осн.	34,2	4,41	0,95	2,66	0,97	0,4	0,5	4	0,99
Норми ТУ 14-1-3046-97	Осн.	32- 35	4,3- 5,3	0,5- 1,1	2,3- 3,3	0,5- 1,5	0,4	0,5	4	0,5- 1,1

3.5 Висновки і заключення прийняті внаслідок дослідження

- Матеріал зразків, вирощених плазмовим наплавленням дротом, відповідає сплаву ЕП 648-ВІ (ХН50ВМТЮБ).
- Макроструктура зразків шарувата, з зонами сплавлення, що рівномірно чергуються, що характерно для металу, отриманого методом багатошарового наплавлення.
- У матеріалі вирощених зразків зі сплаву ЕП 648-ВІ (ХН50ВМТЮБ), присутні допустимі одиничні мікропори та раковини розміром до 58 мкм.
- Мікроструктура матеріалу зразків отриманих методом вирощування плазмовим наплавленням дротом зі сплаву ЕП 648-ВІ (ХН50ВМТЮБ) після термообробки, являє собою γ - твердий розчин з наявністю інтерметалідів, карбідів, нітридів і частинок голчастої морфології надлишкової фази на основі хрому при старінні. Мікроструктура відповідає нормальному термообробленому стану сплаву ЕП648-ВІ (ХН50ВМТЮБ), перегріву не виявлено.

- Мікроструктура вирощених зразків зі сплаву ЕП 648-ВІ (ХН50ВМТЮБ) не має суттєвої відмінності від литої структури ЕП 648-ВІ (ВХ4Л).

- Міцнісні властивості (σ_b , $\sigma_{0,2}$) при кімнатній температурі зразків зі сплаву ЕП 648-ВІ (ХН50ВМТЮБ), отриманих методом вирощування плазмовим наплавленням дротом, відповідають вимогам ТУ 14-1-3046-97 (Прутки), ОСТ 1 90126-85 (Лиття ВХ4Л). Пластичні властивості (δ) при кімнатній температурі відповідають вимогам ОСТ 1 90126-85 (Лиття ВХ4Л), але знаходять нижче вимог ТУ 14-1-3046-97 (Прутки) на 70 % у поздовжньому напрямку та на 35 % у поперечному напрямку.

- Міцнісні властивості (σ_b , $\sigma_{0,2}$) при кімнатній температурі зразків у поздовжньому та поперечному напрямку знаходяться приблизно на одному рівні, присутня невелика відмінність (~ від 4 % до 5 %). При цьому спостерігається більша до (~54 %) відмінність пластичних властивостей (δ) в поздовжньому і поперечному напрямку.

- Тривала міцність при температурі 450 °С зразків зі сплаву ЕП 648-ВІ (ХН50ВМТЮБ), отриманого методом вирощування плазмовим наплавленням дротом відповідає вимогам заданим КНІК.

Заключення: Розглянути можливість виготовлення статорних деталей (з наступним їх встановленням на двигун) методом плазмовим наплавленням дротом із сплаву ЕП 648-ВІ (ХН50ВМТЮБ) з урахуванням результатів випробувань механічних властивостей і тривалої міцності, отриманих при виконанні даного дослідження [21].

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

Ідея полягає в зменшенні собівартості виготовлення кільця направляючого апарату високого тиску двигуна Д-18Т, виготовленого із жароміцного нікелевого сплаву ЕП 648-ВІ (ХН50ВМТЮБ), за рахунок зменшення матеріалоемності. В якості нової технології обрано плазмове адитивне вирощування дротом, дана технологія дозволяє отримати якісний виріб зі зменшеною матеріалоемністю. Опис ідеї приведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів
Зменшення собівартості виробу шляхом зменшення матеріалоемності	1. Вирішення проблеми високої матеріалоемності виробу	Зменшення витрат на ремонт двигуна
	2. Виключення впливу людського фактору на процес виробництва	Зменшення долі браку

Характеристику потенційного ринку надано в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Попередня характеристика потенційного ринку

№	Показники стану ринку	Характеристика
1	Головні конкуренти	Заводи виробники авіадвигунів та комплектуючих для них («Івченко Прогрес»)

Продовження таблиці 4.2

2	Динаміка ринку	Зростає
3	Наявність обмежень для входу	Необхідність капіталовкладень для створення матеріально-технічної бази
4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Закупівля обладнання для вирощування, навчання персоналу

Характеристика потенційних клієнтів сформована в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Попередня характеристика потенційних клієнтів

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів
1.	Зменшення собівартості виготовлення та ремонту двигуна	Авіакомпанії; ремонтні заводи; заводи, що збирають двигун	Відсутні	Зменшення собівартості без втрати необхідної якості виробів
2.	Збільшення попиту на продукцію			Відповідна якість продукції

Таблиця 4.4 – SWOT-аналіз

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ul style="list-style-type: none"> - Зменшення матеріалоемності - Висока якість отриманих виробів - Низька частка браку - Незалежність від зовнішніх надавачів послуг - Висока якість 	<ul style="list-style-type: none"> - Досить висока вартість обладнання - Необхідність в навчанні персоналу
Можливості	Загрози
<ul style="list-style-type: none"> - Можливість налагодити обладнання на випуск іншої продукції підприємства - Можливість зменшення собівартості ремонту та зборки двигуна 	<ul style="list-style-type: none"> - Сповільнення росту ринку - Підвищення цін на сировину

Розробка ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів представлено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота вхо- ду в сегмент
1	Підприємства, які спеціалізуютьс я на ремонті та збірці авіадвигунів	Висока	Великий попит	Низька конкуренція	Легкий
Цільові групи: АТ «Мотор Січ»					

Далі необхідно ідентифікувати стейкхолдерів, здійснити їх пріоритезацію та побудувати карту стейкхолдерів, яка дозволить візуалізувати картину взаємозв'язків стейкхолдерів.

Створення карти має відбуватись у 4 етапи:

- ідентифікація – окреслення актуальних груп стейкхолдерів;
- аналіз – дослідження впливу та інтересів стейкхолдерів;
- візуалізація – візуальна ілюстрація взаємодії зі стейкхолдерами;
- пріоритезація – вибір ключових стейкхолдерів, які найкраще відповідали б істотним питанням, визначеним на попередньому етапі.

З метою відображення взаємозв'язків стейкхолдерів на Kartі має бути виокремлено три концентричних області, в яких розміщено всіх зацікавлених осіб інноваційного проекту за можливостями впливу на них ініціатора проекту. Область внутрішніх стейкхолдерів – область повноважень/відповідальності ініціатора. Внутрішні зацікавлені сторони знаходяться в прямій підлеглості

ініціатора, що дозволяє використовувати досить прості методи адміністрування проекту.

Залежні зацікавлені сторони формально ініціатору проекту не підлеглі, проте тісні ділові стосунки потребують на пошук взаємовигідних рішень та компромісів. На периферії ж знаходяться зовнішні зацікавлені сторони. Це область стейкхолдерів опосередкованого впливу на успішність реалізації інноваційного проекту.



Рисунок 4.1 – Карта стейкхолдерів

4.1 Розрахунок собівартості та економічного ефекту

Необхідно визначити витрати на оплату праці з урахуванням балансу робочого часу одного працівника та визначити суму ЄСВ (табл 4.6, 4.7).

Таблиця 4.6 - Склад, чисельність та фонд заробітної плати виробничих працівників

Категорії працівників	Наявна чисельність, осіб		Тарифна ставка за розрядом виконуваних робіт, грн / годину	Ефективний фонд робочого часу, годин	Тарифний заробіток, грн.	Преміальний відсоток до тарифного заробітку	Розмір премії, грн.	Річний фонд заробітної плати, грн.	ЄСВ, грн.
	за зміну	на добу							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Виробничі працівники, в тому числі:									
1.Основні працівники:									
Оператор робота	1	2	100	1866	186600	25	46650	466500	102630
Токар	1	1	120	1866	223920	25	55980	279900	61578
Свердлильник	1	1	80	1866	149280	25	37320	186600	41052
Разом виробничих працівників	3	4	-	-	-	-	139950	933000	205260

Таблиця 4.7 - Склад, чисельність та фонд заробітної плати адмінперсоналу

Посада	Кількість осіб	Посадовий оклад, грн	Преміальний відсоток до окладу, %	Сума премії грн	Місячна заробітна плата, грн	Річний фонд оплати праці, грн	ЄСВ, грн
1	2	3	4	5	6	7	8
Майстер	1	15000	40	6000	21000	252000	55440
Технолог	1	14000	40	5600	19600	235200	51744
Разом управлінського персоналу	2	29000	-	11600	40600	487200	107184

Визначити матеріальні витрати (табл. 4.8) та вартість спожитих послуг (табл. 4.9).

Таблиця 4.8 – Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати	Норматив у розрахунку на один. продук. (послуг)	Виробнича програма	Обсяг сировини	Ціна, грн	Сума (з урахуванням транспортних витрат), грн
1	2	3	4	5	6
Зварювальний дріт ЕП-648ВІ діаметр 1 мм	32	33	1056	2500	2772000

Продовження таблиці 4.8

Захисний газ аргон	75600	33	2494800	450	196465,5
Вольфрамовий електрод діаметр 3,2 мм	0,1	33	3	150	472,5
Різці відрізний	0,03	33	1	700	735
Набір свердл по металу	0,03	33	1	300	315
Разом	-	-	-	-	2969988

*Обсяг 1 балона 6000 літрів

Таблиця 4.9 – Розрахунок вартості спожитих послуг

Вид послуг	Норматив у розрахунку на один. продук. (послуг)	Виробнича програма	Обсяг послуг	Тарифи	Сума грн
1	2	3	4	5	6
Електропостачання	-	-	160000 кВт·год	3,7	592000
Водопостачання	-	-	1800 м ³	18,68	33624
Теплопостачання	-	-	37000 м ³	7,42	274540
Разом	-	-	-	-	900164

Необхідно визначити річну суму амортизації з урахуванням первісної вартості основних засобів та норми амортизації, а також витрати на поточний ремонт у розмірі 2 % від балансової вартості основних засобів

Таблиця 4.10 – Розрахунок амортизації

Група основних засобів	Нормативний строк експлуатації	Первісна вартість ОЗ на 01.01	Сума, грн
1	2	3	4
1.Виробничі будівлі	60	734400	12240
2. Споруди	50	36720	734
3. Обладнання	15	3795000	253000
4.Цінні інструменти, прилади, інвентар	15	189750	12650
5.Транспортні засоби	10	113 850	11385
Разом	-	4869720	290009

Таблиця 4.11 – Кошторис витрат при виробництві кільця за новою технологією

Калькуляційні статті	Витрати	
	у розрахунку на одиницю продукції, грн.	у розрахунку на весь обсяг продукції, грн.
Сировина та матеріали	89999,64	2969988
Електропостачання	17939,39	592000
Водопостачання	1018,909	33624
Теплопостачання	8319,394	274540
Разом	27277,7	900164
Заробітна плата основних виробничих працівників	10900	359700
ЄСВ	2398	79134
Амортизація	8788,152	290009
Витрати на утримання та експлуатацію основних засобів поточний ремонт	32700	1079100
Загальновиробничі витрати	21800	719400
Виробнича собівартість	103863,852	3427507
Адміністративні витрати	10900	359700
Повна собівартість	114763,852	3787207

Витрати на утримання та експлуатацію основних засобів та поточний ремонт – 300 % фонду заробітної плати.

Загальновиробничі витрати – 200 % фонду заробітної плати.

Адміністративні витрати – 100 % фонду заробітної плати.

Таблиця 4.12 - Кошторис витрат при виробництві кільця за базовою технологією

Калькуляційні статті	Витрати	
	у розрахунку на одиницю продукції, грн.	у розрахунку на весь обсяг продукції, грн.
Сировина та матеріали	245310	8095215
Електропостачання	25787	851000
Водопостачання	1018	33624
Теплопостачання	9090	300000
Разом	35897	1184624
Заробітна плата основних виробничих працівників	39581	1306200
ЄСВ	8708	287364
Амортизація	12411	409581,7
Витрати на утримання та експлуатацію основних засобів поточний ремонт	118745	3918600
Загальновиробничі витрати	79163	2612400
Виробнича собівартість	539817	17813984
Адміністративні витрати	39581	1306200
Повна собівартість	579399	19120184

Економічний ефект Е за розрахунковий рік:

$$E = (CB_6 - CB_n) \cdot N = (579399 - 114763,852) \cdot 33 = 15\,332\,959 \text{ (грн)} \quad (4.1)$$

4.2 Висновки по розділу техніко-економічні розрахунки

Використання технології адитивного вирощування заготовки кільця ВНА дозволяє суттєво зменшити собівартість виготовлення виробу, порівняно з базовою технологією. Зменшення собівартості досягається завдяки зниженню витрат на матеріали та фонд оплати праці.

Економічний ефект даної технології – 15 332 959 гривень за розрахунковий рік.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надано основні заходи з охорони праці при розробці технологічного процесу виготовлення кільця направляючого апарату високого тиску (ВНА) способом мікроплазмового адитивного вирощування.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

а) небезпеки, які пов'язані з порушенням роботодавцем вимог нормативних актів з охорони праці, стосовно забезпечення безпечних умов праці робітників, а саме:

- вимог щодо організації проведення навчання та перевірки знань з питань ОП; відсутності інструкцій, плакатів, схем тощо.

б) можливість ураження електричним струмом при виконанні службових обов'язків внаслідок порушення правил з електробезпеки, несправності енергоспоживаючого обладнання, відсутності захисного заземлення, відсутності групових або індивідуальних засобів, що може призвести до електричних травм або летального наслідку.

в) небезпеки, які пов'язані з використанням судин для зберігання робочих газів під тиском, зокрема: порушення правил зберігання, транспортування судин під тиском, що може призвести до вибухів, великомасштабних руйнувань та серйозних травм або летальних наслідків.

г) небезпеки, які пов'язані з безпосереднім наплавленням дослідницьких зразків та виробів, а саме:

- негативний вплив інтенсивного УФ випромінювання в плазмоутворюючій зоні, що може призвести до ураження органів зору.

- можливість отруєння зварювальними газами, які містять шкідливі речовини, що пов'язано з виділенням у навколишнє середовище аерозолів тугоплавких металів, які утворюються при наплавленні внаслідок відсутності засобів індивідуального захисту та несправністю або відсутністю місцевої витяжної вентиляції.

- можливість опіку від непередбачуваного торкання нагрітих поверхонь.

д) небезпеки, які пов'язані з роботою на роботизованому обладнанні, а саме:

- можливість отримання механічних травм, які пов'язані з недотриманням правил безпеки при експлуатації обладнання або відсутністю захисних екранів та індивідуальних засобів захисту.

е) небезпеки, які пов'язані з випробуванням механічних властивостей отриманих зразків з використанням дослідницького обладнання.

є) небезпеки, які пов'язані з проведенням металографічних досліджень методом оптичної металографії вирошених зразків або готових виробів. Зокрема:

- можливість отримання хімічних опіків при травленні зразків, що пов'язано з порушенням техніки безпеки при роботі з хімічними реактивами.

- можливість ушкодження органів зору при хибному виборі комбінацій світлофільтрів, окулярів та об'єктивів.

ж) небезпеки, які пов'язані з обробкою результатів досліджень з використанням ПК, що може призвести до ушкодження опорно-рухового апарату.

з) недостатній рівень освітленості в приміщенні дослідницької лабораторії та виробничої дільниці, що може бути пов'язано з виходом з ладу освітлювальних приладів або їх недостатньою кількістю.

и) невідповідність параметрів метеоумов вимогам санітарно-гігієнічних правил.

і) можливість загоряння внаслідок недотримання правил з пожежної безпеки, що може призвести до пожежі.

5.2 Заходи забезпечення безпеки:

а) у відповідності до НПАОП 0.00-7.11 – 12 «Загальні вимоги щодо забезпечення роботодавцем охорони праці працівників» має бути обов'язковим наступне [35]:

- усі працівники повинні пройти навчання та перевірку знань з питань ОП згідно типового положення затвердженого наказом державної праці 26.01.2005 № 15;

- роботодавець повинен забезпечити повну і вичерпну інформацію про можливі небезпеки, як відносно усього підприємства, так і відносно конкретних видів робіт;

- на підприємствах обов'язковим є проведення усіх необхідних видів інструктажів (вступний, первинний, періодичний, позаплановий, цільовий) [35].

б) Для виключення випадків ураження електричним струмом у відповідності до ПУЕ-15 «Правила улаштування електроустановок-споживачів» обов'язковим є:

- всі співробітники повинні пройти навчання та перевірку знань з електробезпеки (спеціальне навчання за правилами) та перевірку знань з отриманням посвідчення за відповідною групою з електробезпеки [37];

- у відповідності до ДСТУ 7237:2011. «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту» обов'язковим є періодична (1 раз на рік) перевірка опору заземлення контурів (до 1000 В – 4 Ом; після 1000 В – 10 Ом) та перевірка справності контуру електроз'єднань [38].

Для захисту від ураження електричним струмом передбачено використання подвійної ізоляції провідників. Розташування струмоведучих частин виконується на недоступній висоті (до 1000 В – не менш 3,5 м; більше 1000 В – 6 м). У разі неізольованих струмопровідних ліній, вони повинні бути

надійно огорожені суцільними огорожами; відкриття або зйом яких виконують тільки спеціальний персонал за допомогою спеціальних ключів.

Електрообладнання зварювальної дільниці або дільниць наплавлення повинно відповідати вимогам НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила техніки безпеки при використанні електроспоживачів», а саме [36]:

- зварювальні проводи повинні бути гнучкими з легкою і міцною ізоляцією, довжина дроту від електродотримача до з'єднання не повинна перевищувати 3 м;

- саме з'єднання представляє з себе спеціальний пристрій.

По відношенню до джерел струму основним заходом безпеки є недопустимість потрапляння струму в ланцюг при перериванні процесу зварювання, для чого необхідно використовувати автоматичні вимикачі на обладнанні.

в) для виключення можливості отримання травм, пов'язаних з використанням судин для зберігання робочих газів під тиском необхідно діяти згідно з НПАОП 0.00-1.81- 18 «Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском», а саме [37]:

- перевірити і переконатися в справності вимірювальних приладів на балонах для газів, обладнання і інструментів, огорожень, вентиляції;

- перевірити стійкість балонів і правильність їх закріплення;

- переконатися у відсутності на робочому місці пожежонебезпечних матеріалів.

Працівник не повинен розпочинати роботу при порушеннях цілісності газового балона (наявності тріщин або вм'ятин), при відсутності на балоні клейма з датою його випробування, при несправності газового редуктора або манометра на редукторі [41].

Балони з газами слід зберігати в одноповерхових складах з покриттями легкого типу, обладнаних вентиляцією, без горищних приміщень [42].

Підлоги в складському приміщенні необхідно виконувати з матеріалів, які виключають іскроутворення при ударі по них металевими предметами. Підлоги повинні настилатися не нижче 0,1 м від рівня землі.

Балони з газом, що встановлюються в приміщенні, слід розташовувати на відстані не менше 1 м від радіатора опалення і не менше 5 м від джерела тепла з відкритим вогнем [43].

При влаштуванні екрана, що оберігає балони від нагрівання, відстань між балоном і опалювальним приладом може бути зменшено до 0,5 м. Відстань між балонами і запобіжним екраном повинна бути не менше 10 см.

Балони біля стін будівель необхідно встановлювати на відстані не менше 0,5 м від дверей і вікон першого поверху і 3 м - від вікон і дверей цокольних і підвальних поверхів, а також каналізаційних колодязів та вигрібних ям.

Не допускається розміщення газових балонів біля запасних (пожежних) виходів з приміщень, з боку головних фасадів будівель, в проїздах з інтенсивним рухом транспорту.

Підігрівати балони для підвищення тиску забороняється.

При експлуатації балонів забороняється повністю вибирати газ, що знаходиться в них. Залишковий тиск газу в балоні повинен бути не менше 0,05 МПа (0,5 кгс / см²).

Якщо тиск в балонах виявиться вище допустимого, необхідно короткочасним відкриванням вентиля випустити частину газу в атмосферу або охолодити балон холодною водою з метою зниження тиску. При випуску газу з балона або продуванні вентиля чи пальника працівнику необхідно перебувати в стороні, протилежної напрямку випуску газу.

При виконанні робіт в зимовий час в разі замерзання вентиля на балоні відігрівати його слід тільки гарячою водою.

Роботи необхідно зупинити:

- якщо тиск в посудині піднявся вище допустимого;
- при виявленні несправностей запобіжних клапанів;
- при несправності манометра;

- при виникненні пожежі, котра безпосередньо загрожує посудині, що знаходиться під тиском.

г) При вирощуванні зразків на роботизованому обладнанні, для уникнення потенційних небезпек, необхідно дотримуватись наступних правил безпеки:

- Інтенсивність світлового випромінювання повинна відповідати вимогам ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення».

Для захисту органів зору від потужного УФ випромінювання необхідно використання індивідуальних (маски, щитки) та групові (захисні завіси та екрани) засоби захисту [44].

Допустима інтенсивність ультрафіолетової радіації працюючих, при наявності незахищених ділянок поверхні шкіри не більш $0,2 \text{ м}^2$ не повинна перевищувати значень, регламентованих ПІ 1.1.23-007-2005 «Примірна інструкція з охорони праці електрогазозварника», для загальної тривалості випромінювання 50 % робочої зміни та тривалості однократного опромінення до 5 хв і більше: для УФ-В – $0,01 \text{ Вт} / \text{м}^2$. Випромінювання в зоні спектра УФ-С – не допускається [39].

Сигнальні кольори та знаки безпеки - згідно з ДСТУ EN ISO 7010:2019 «Графічні символи. Кольори та знаки безпеки. Зареєстровані знаки безпеки».

Для захисту органів зору від інтенсивного УФ випромінювання необхідно використовувати засоби індивідуального та колективного захисту:

– Захисні маски. Мають відповідати вимогам ДСТУ EN 166:2017 «Засоби індивідуального захисту очей. Технічні умови» [43].

– Захисні екрани.

- Для попередження отруєнь зварювальними газами і аерозолями при роботі в закритих приміщеннях необхідно передбачити місцеву витяжну примусову вентиляцію.

Вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони – гранично-допустимих концентрацій (ГДК), регламентованих ГОСТ 12.1.005-88 «Загальні санітарно-

гігієнічні вимоги до повітря робочої зони» і переліком ГДК. Основними шкідливими речовинами є: оксиди марганцю, хрому, заліза, азоту, озон, пил, що вміщає діоксид кремнію, сполуки нікелю, солі фтористоводної кислоти, оксид вуглецю, фтористий кремній [44].

- Для попередження опіків від випадкових дотиків температура нагрітої поверхні устаткування не повинна перевищувати 45 °С. Також необхідне використання засобів індивідуального захисту (перчатки, краги).

д) Для виключення та попередження травм працівники зварювальних та наплавлювальних ділянок повинні бути забезпечені спеціальним захисним одягом та ЗІЗ відповідно до ДСТУ EN ISO 11611:2016 «Одяг захисний для використання під час зварювання та суміжних процесів» [45].

При експлуатації промислових роботів, роботизованих технологічних комплексів і ділянок основними причинами впливу небезпечних виробничих факторів на працюючих є наступні [45]:

- непередбачені рухи виконавчих пристроїв промислових роботів при наладці, ремонті, під час навчання і виконання керуючої програми;
- раптова відмова в роботі промислового робота або технологічного обладнання, що входить до складу роботизованого комплексу;
- помилкові (ненавмисні) дії оператора або наладчика при наладці, ремонті або під час роботи робота в автоматичному режимі;
- доступ людини в робочий простір робота при роботі в режимі виконання програми;
- порушення умов експлуатації промислового робота або роботизованого технологічного комплексу;
- порушення вимог ергономіки і безпеки праці при плануванні роботизованого технологічного комплексу і ділянки.

Електроустаткування промислових роботів виконується в строгій відповідності з «Правилами улаштування електроустановок» (ПУЕ) [34].

Шумові характеристики повинні відповідати ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

Ділянки, на яких потенційно може опинитись людина під час виконання переміщень робота повинні бути обладнані спеціальними рамками-датчиками руху, які можуть миттєво припинити рух робота в разі потрапляння людини в робочу зону [46].

Дроти живлення механізму подачі зварювального дроту, підведення захисного газу, дроти живлення, трубки системи охолодження повинні бути змонтовані та закріплені таким чином, щоб уникати захаращення простору та не допускати перекручення кабелів та дротів під час руху робота.

Органи управління і засоби відображення інформації повинні бути розташовані на панелі пульта управління і відповідати ергономічним вимогам.

Сигнальні кольори і знаки безпеки, що наносяться на промислові роботи, повинні відповідати встановленим вимогам.

е) Подальше дослідження передбачає визначення механічних властивостей досліджуваних зразків, а саме: статичні при кімнатній температурі (межа плинності та міцності, відносне подовження та звуження) та статичні при підвищеній температурі (дослідження на повзучість розтягом).

Дослідження механічних властивостей при кімнатній температурі передбачає собою використання розривної машини H&P Inspekt 2500. Основну увагу при роботі на даному обладнанні слід приділяти небезпеці механічного травмування, для запобігання якого необхідно дотримуватись правил і норм експлуатації обладнання [47].

Дослідження механічних властивостей при підвищеній температурі передбачає собою використання розривної машини H&P Inspekt Table з додатково встановленою високотемпературною камерою і піччю. Основну увагу при роботі слід приділяти небезпеці отримання механічних травм та випадкових дотиків до нагрітих поверхонь, що веде за собою опіки.

є) При проведенні металографічних досліджень з використанням оптичних мікроскопів МБС-10 та ZEISS Axio Observer, основними заходами безпеки є:

- Для захисту від хімічних опіків при травленні необхідно:
 - Дотримуватися правил ПП 1.3.10-450-2006. «Примірна інструкція з охорони праці при виконанні робіт з кислотами і лугами» [48];
 - Використовувати ЗІЗ (рукавички, халати, окуляри);
 - Дотримуватися рецепту приготування реактивів.
- Для захисту органів зору необхідна оптимальна комбінація об'єктивів та окулярів мікроскопу, що повинно забезпечувати комфортний огляд об'єкту дослідження і має бути індивідуальним. Обов'язковим є застосування світлофільтрів.

ж) Персонал, який працює з використанням комп'ютерної техніки зобов'язаний дотримуватись інструкцій з ОП, які розроблені на підставі: ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [49].

Види трудової діяльності користувача поділяють на 3 групи:

- Робота зі зчитуванням інформації за попереднім запитом – максимальна кількість знаків 60 тис.
- Робота із введенням інформації – максимальна кількість знаків 40 тис.
- Творча робота в режимі діалогу – максимальний час роботи з технікою не більше 6 год.

Для забезпечення оптимальної працездатності передбачено:

- перерви в роботі не рідше 10 хв / 1 год з рекомендованими фізичними вправами.
- використання сучасних моделей відеодисплеїв, наприклад ТФТ, ЖК.
- використання спец одягу з натуральних матеріалів (ХБ).
- обов'язкове вологе прибирання, провітрювання.

Синдром зап'ястного каналу, або тунельний синдром зап'ястя, який може бути наслідком хронічної травми, трапляється у людей внаслідок тривалої роботи з мишею: постійні напруга і здавлювання приводить до мікротравм, здавлювання нерва прилеглими оточуючими тканинами, через що виникає набряк.

Для попередження тунельного синдрому потрібно дотримуватися кількох правил організації робочого місця:

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

5.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці

и) Для забезпечення вимог ДБН В.2.5-28-2018 «Природне та штучне освітлення» [50] обов'язковим є використання цих видів освітлення.

Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які орієнтовані на південь і забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5 %. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, передбачено сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлені жалюзі. Природне освітлення повинно відповідати вимогам ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення».

Штучне освітлення повинне відповідати вимогам ГОСТ 12.2.007.13-2000 «Лампи електричні. Вимоги безпеки», ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення».

Штучне освітлення поділяється на робоче, аварійне, евакуаційне (аварійне освітлення для евакуації), охоронне. При необхідності частина світильників того чи іншого виду освітлення може використовуватись для чергового освітлення.

Лампи розжарювання та газорозрядні лампи, що застосовуються для загального або місцевого освітлення, повинні бути укладені в захисну та світлорозсіювальну арматуру. Використання відкритих ламп не допускається.

Для обмеження сліпучої дії світильники загального освітлення у виробничих приміщеннях повинні бути встановлені таким чином, щоб вихідні отвори не розташовувалися у вертикальній або похилій площинах, якщо вони можуть потрапити до поля зору працюючих.

Вибір типу світильника залежить від необхідного рівня освітлюваності.

- Вибір системи освітлення. На виробництві застосовують загальне та комбіноване (загальне поєднане з місцевим) освітлення. Вибір системи освітлення залежить від зорових робіт РЗР і визначається за Державними

будівельними нормами України (ДБН В.2.5–28:2018 "Природне і штучне освітлення"). Обираємо загальне освітлення.

- Визначення рівня нормованої освітленості (E_n). За кількісну характеристику освітленості у приміщенні береться найменша освітленість, яка залежить від: розряду зорових робіт, фону, контрасту об'єкта з фоном, системи освітлення.

Приймаємо $E_n = 300$ лк

- Вибір джерела світла. У якості джерел штучного освітлення використовують лампи розжарювання, газорозрядні лампи та світлодіодні прилади.

Для виробничого цеху розмірами $A \times B \times H = 18 \text{ м} \times 12 \text{ м} \times 7 \text{ м}$, обираємо газорозрядні лампи типу ДРИ 125. Її характеристики:

Потужність $P = 425$ Вт; світловий потік $\Phi = 6500$ лм.

- Вибір типу світильника для обраних ламп проводиться з урахуванням умов навколишнього середовища, характеристики і класу освітлювального приміщення за вибухопожежонебезпекою.

Обираємо РПП тип: ступінь захисту $IP = 54$; коефіцієнт світильника $L/h = 1,4$.

- Оцінка коефіцієнта запасу та коефіцієнта нерівномірності освітлення.

Коефіцієнт запасу k_z враховує зниження рівня освітленості з часом в результаті забруднення та старіння ламп, світильників і поверхонь приміщення, приймається в залежності від виробничих умов. $k_z = 1,6$.

Коефіцієнт нерівномірності (мінімального) освітлення z (відношення середньої освітленості до мінімальної освітленості), як правило дорівнює:

$z = 1,15$ – для ламп розжарювання ЛР, газорозрядних ламп високого тиску типу ДРЛ і ДРИ та точкових LED-світильників.

- Оцінка коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення (від: стелі – ρ_c ; стін – $\rho_{ст}$; підлоги – $\rho_{п}$):

В залежності від виділення пилу у процесі роботи розрізняють :

– світлі приміщення $\rho_c=70 \%$; $\rho_{ст}=50 \%$; $\rho_{п}=30 \%$;

- приміщення з незначним пиловиділенням $\rho_c=50\%$; $\rho_{ст}=30\%$; $\rho_{п}=10\%$;
- приміщення зі значним пиловиділенням $\rho_c=30\%$; $\rho_{ст}=10\%$; $\rho_{п}=10\%$.

Обираємо приміщення з незначним пиловиділенням.

- Розраховуємо кількість рядів світильників у приміщенні:

$$N_p = \frac{B}{(H-h_p) \cdot [L/h]} = \frac{12}{(7-0,8) \cdot 1,4} = 1,3 \approx 2 \text{ ряда} \quad (5.1)$$

Де, h_p – висота умовної робочої поверхні, як правило 0,8 м.

- Визначаємо відстань між рядами:

$$L_{\max} = \frac{B}{N_p} = \frac{12}{2} = 6 \text{ (м)} \quad (5.2)$$

- Знаходимо висоту звисання світильника від стелі:

$$h_з = H - h_p - h = 7 - 0,8 - 4,3 = 1,9 \text{ (м)} \quad (5.3)$$

- Чисельне значення індексу приміщення:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} = \frac{18 \cdot 12}{4,3 \cdot (18+12)} = 1,7 \quad (5.4)$$

- Значення коефіцієнта використання світлового потоку η вибирається в залежності від виду джерела світла, типу обраного світильника, коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення (ρ_c , $\rho_{ст}$, $\rho_{п}$) та індексу приміщення.

$$\eta = 0,56$$

- Визначаємо сумарний світловий потік освітлювальної установки у даному виробничому приміщенні:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_{н} \cdot S \cdot k_z \cdot z}{\eta} = \frac{300 \cdot 216 \cdot 1,6 \cdot 1,15}{0,56} = 212914 \text{ (лм)} \quad (5.5)$$

Де, S – площа цеху ($S = 216 \text{ м}^2$).

- Визначаємо розрахункову загальну кількість світильників N^* у приміщенні, виходячи з позиції розташування їх у вершинах квадрата:

$$N_{св}^* = \frac{AB}{L_{\max}^2} = \frac{18 \cdot 12}{6^2} = 6 \text{ (шт)} \quad (5.6)$$

- Визначити розрахунковий світловий потік лампи $\Phi_{л}^*$:

$$\Phi_{л}^* = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N_{л}} = \frac{212914}{6} = 35486 \text{ (лм)} \quad (5.7)$$

де $N_{л}$ – загальна кількість ламп у приміщенні;

$$N_{л} = N^* \cdot n \quad (5.8)$$

n – кількість ламп у світильнику.

- Обираємо тип стандартної лампи з найближчим значенням фактичного світлового потоку лампи $\Phi_{л}$ і знаходимо коефіцієнт пропорційності m :

ДРИ 400: $P_{л} = 400 \text{ Вт}$; $\Phi_{л} = 36000 \text{ лм}$.

$$m = \frac{\Phi_{л}^*}{\Phi_{л}} = \frac{35486}{36000} = 0,98 \quad (5.9)$$

- Визначаємо оптимальну кількість світильників $N_{св}$:

$$N_{св} = N_{св}^* \cdot m = 6 \cdot 0,98 = 5,91 \approx 6 \text{ (шт)} \quad (5.10)$$

- Визначити загальну розрахункову освітленість E_p у приміщенні, що створюється при застосуванні вибраних стандартних ламп:

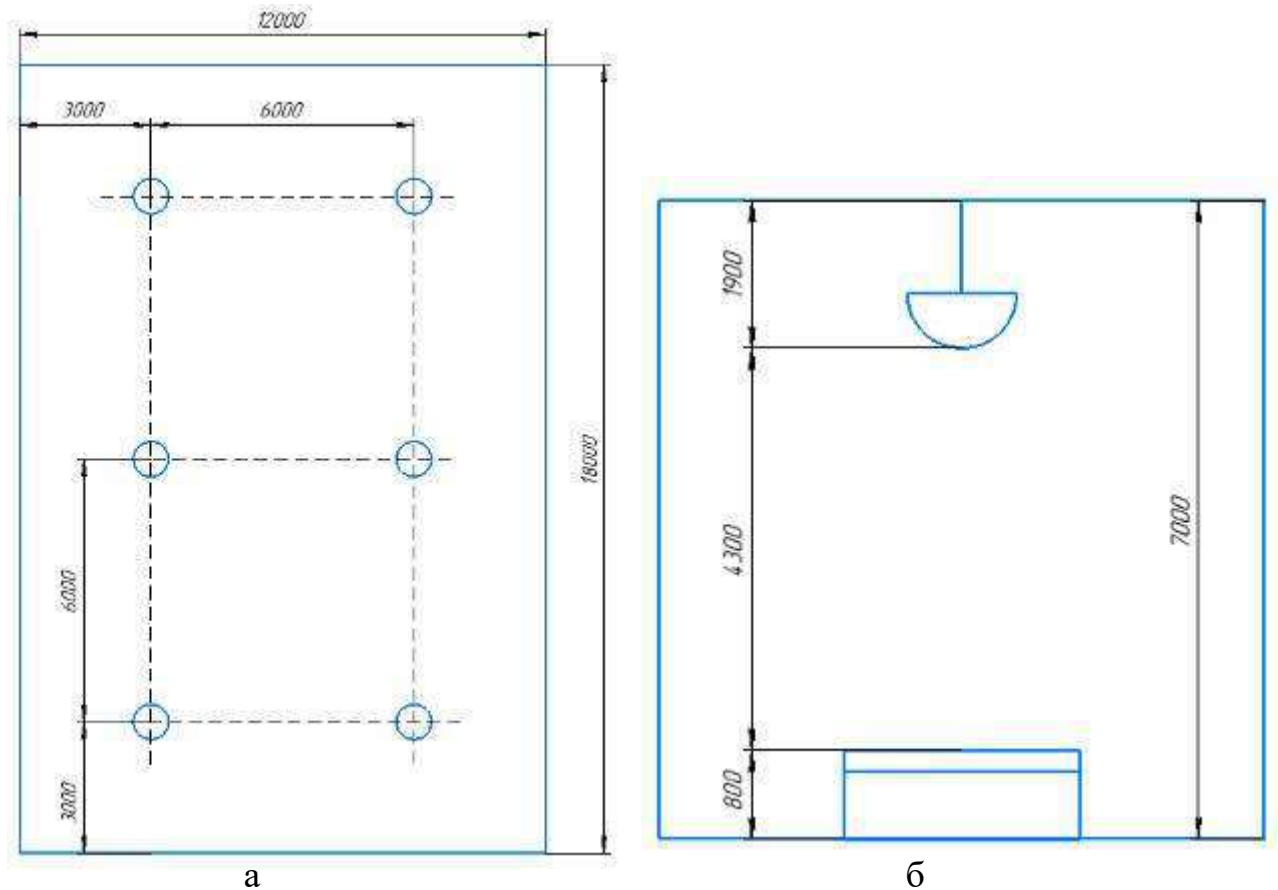
$$E_p = \frac{\Phi_l \cdot N_{св} \cdot \eta}{S \cdot k_3 \cdot z} = \frac{36000 \cdot 6 \cdot 0,54}{216 \cdot 1,6 \cdot 1,15} = 304 \text{ (лк)} \quad (5.11)$$

- Розраховуємо загальну потужність освітлювальної установки:

$$P_\Sigma = N_{св} \cdot P_l = 6 \cdot 400 = 2400 \text{ (Вт)} \quad (5.12)$$

- Виконати ескізи розташування світильників на плані приміщення.

При загальному рівномірному освітленні стандартні лампи, як правило, розташовують у вершинах квадратних, прямокутних або ромбічних полів (рис. 5.1).



а – у виробничому приміщенні; б – над робочою поверхнею.

Рисунок 5.1 – Схеми розміщення світильників

і) Метеорологічні умови в робочій зоні приміщення, офісу (лабораторії і т.п.) – температура повітря, відносна вологість повітря й швидкість його переміщення відповідає вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [51].

Роботи в офісі (лабораторії і т.п.), належать до категорії Іб – легкі фізичні роботи, що виконуються сидячи, стоячи або пов'язані з ходінням та супроводжуються деяким фізичним напруженням, тому передбачені наступні оптимальні та допустимі метеорологічні умови:

- у холодний період року на постійних робочих місцях температура: оптимальна від 21 °С до 23 °С, припустима від 20 °С до 24 °С; відносна вологість: оптимальна від 40 % до 60 %, припустима 75 %; швидкість

переміщення повітря: оптимальна не більше 0,1 м / с, припустима не більше 0,2 м / с;

- у теплий період року на постійних робочих місцях температура: оптимальна від 22 °С до 24 °С, припустима від 21 °С до 28 °С; відносна вологість: оптимальна від 40% до 60 %, припустима 60 % при температурі 27 °С; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,2 м / с, припустима не більше від 0,1 м / с до 0,3 м / с;

Ці параметри забезпечуються системами опалення, кондиціонування і вентиляції відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приміщення (лабораторії, офісу) обладнаного ПК з ВДТ відповідає вимогам ДСанПіН 3.3.2.007- 98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» та ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». Зниження рівня шуму в приміщенні здійснено за допомогою:

- використання блоків живлення ПК з вентиляторами на гумових підвісках;

- використання ПК, в яких термодавачі вмонтовані в блоці живлення та в критичних точках материнської плати (процесор, мікросхеми чипсету), які дозволяють програмним шляхом регулювати як моменти ввімкнення вентиляторів, так і їх швидкість обертання; - переведення жорсткого диска в режим сну (Standby), якщо комп'ютер не працює протягом визначеного часу;

- використання ПК, в яких вентилятор на процесорі встановлено виробником (BOX-процесор);

- використання сучасних, безшумних SSD накопичувачів;

- розташування принтерів колективного користування на значній відстані від більшості робочих місць користувачів ПК.

Забезпечення захисту персоналу від вібрації, здійснюється згідно вимог ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації».

5.4 Заходи безпеки в надзвичайних ситуаціях, пожежна безпека

ї) Заходи з пожежної безпеки розроблені на підставі НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». Розробка заходів починається з аналізу речовин та матеріалів, які використовуються в роботі, це дає змогу визначитись з класом можливої пожежі (А, В, С, D, Е, F) [52]. В залежності від класу пожежі обирається категорія приміщення (А, Б, В, Г, Д). На підставі класу і категорії обираються первинні засоби пожежогасіння: пожежні щити, до складу яких входять: 3 багра, 3 лопати, 3 сокири, 3 відра, 1 азбестове полотно ($1 \times 1,5$; $1,5 \times 2$; 2×2), ящик з піском об'ємом не менш $0,1 \text{ м}^3$, вогнегасники можуть розташовуватись як на пожежному щиті так і окремо (1 щит \times від 200 м^2 до 5000 м^2).

Обов'язковим є навчання та перевірка знань персоналу з пожежної безпеки.

Комплекс протипожежних заходів для дослідницької лабораторії, обладнаної ПК та зварювальним роботом, розроблений згідно вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

На дослідній зварювальній ділянці небезпечними чинниками пожежі є:

- зварювальна дуга;
- іскри і частки розплавленого металу, які виникають при електрозварюванні;
- підвищена температура виробів, які піддаються зварюванню і різанню.

При виконанні дослідницької роботи вибухонебезпечні гази та сухі речовини не використовувалися. Виходячи з аналізу речовин та матеріалів, які

використовуються при роботі у лабораторії згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» у приміщенні лабораторії можлива пожежа класу Е (горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В); відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою», воно належить до категорії «Г» з пожежної безпеки – простір з негорючими речовинами і/або матеріалами у гарячому, розпеченому і/або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, утворенням іскор і/або полум'я.

Оскільки приміщення дослідницької лабораторії належить до категорії «Г» з пожежної безпеки, тому згідно вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» воно має II ступінь вогнестійкості.

Пожежна безпека на складально-зварювальній ділянці може бути забезпечена сукупністю заходів, спрямованих на попередження пожеж, запобігання поширення вогню в разі виникнення пожеж і створення умов, що сприяють швидкій ліквідації пожежі, що почалася.

Для виключення можливості загорянь, внаслідок порушення правил пожежної безпеки, необхідно проводити інструктаж і перевірку знань правил пожежної безпеки, відповідно до НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки України» та НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці».

Засоби пожежогасіння в цехах повинні відповідати Правилам пожежної безпеки в Україні, виходячи з категорії виробництв щодо пожежовибухонебезпеки.

ВИСНОВКИ

В ході виробництва кільця направляючого апарату для збірки та ремонту авіадвигуна Д-18Т було виявлено проблеми традиційної технології, а саме висока вартість виробництва та дефіцит заготовок.

Для вирішення цих проблем виникла необхідність розробки нової технології виготовлення деталей. В якості оптимального рішення було обрано технологію адитивного вирощування заготовок.

В ході проведення літературного огляду було проаналізовано переваги та недоліки різних технологій вирощування, а саме по типу джерела нагріву (електрична дуга, плазмова дуга, лазер, електронний промінь) і типу присадного матеріалу (дріт, порошок). В результаті аналізу обрано адитивне вирощування плазмовою дугою в середовищі інертного газу – WAAM PAW (Wire-arc additive manufacturing Plasma-arc welding).

Основні переваги цього способу:

- висока концентрація теплової потужності і мінімальна ширина зони термічного впливу.
- можливість наплавлення різних матеріалів (мідь, латунь, пластмас) на сталеву деталь.
- можливість виконання плазмового гартування поверхні деталі.
- відносно високий ККД дуги (від 0,2 до 0,45).
- мале (порівняно з іншими видами наплавлення) перемішування наплавленого матеріалу з основним, що дозволяє досягнути необхідних характеристик наплавленого шару.

В якості присадного матеріалу обрано цільнотягнутий дріт. Так як він більш дешевий та має більш безпечні умови праці, порівняно з порошком.

Для впровадження технології в масове виробництво були проведені дослідження зразків, вирощених даним методом. В ході дослідження було визначено:

- матеріал зразків, вирощених плазмовим наплавленням дротом, відповідає сплаву ЕП-648ВІ (ХН50ВМТЮБ).

- макроструктура зразків шарувата, з зонами сплавлення, що рівномірно чергуються, що характерно для металу, отриманого методом багат шарового наплавлення.

- у матеріалі вирощених зразків зі сплаву ЕП-648ВІ (ХН50ВМТЮБ), присутні допустимі одиничні мікропори та раковини розміром до 58 мкм.

- мікроструктура матеріалу зразків отриманих методом вирощування плазмовим наплавленням дротом зі сплаву ЕП-648ВІ (ХН50ВМТЮБ) після термообробки, являє собою γ - твердий розчин з наявністю інтерметалідів, карбідів, нітридів і частинок голчастої морфології надлишкової фази на основі хрому при старінні. Мікроструктура відповідає нормальному термообробленому стану сплаву ЕП-648ВІ (ХН50ВМТЮБ), перегріву не виявлено.

- мікроструктура вирощених зразків зі сплаву ЕП 648-ВІ (ХН50ВМТЮБ) не має суттєвої відмінності від литої структури ЕП 648-ВІ (ВХ4Л).

- міцнісні властивості (σ_B , $\sigma_{0,2}$) при кімнатній температурі зразків зі сплаву ЕП-648ВІ (ХН50ВМТЮБ), отриманих методом вирощування плазмовим наплавленням дротом, відповідають вимогам ТУ 14-1-3046-97 (Прутки), ОСТ 1 90126-85 (Лиття ВХ4Л). Пластичні властивості (δ) при кімнатній температурі відповідають вимогам ОСТ 1 90126-85 (Лиття ВХ4Л), але знаходять нижче вимог ТУ 14-1-3046-97 (Прутки) на 70 % у поздовжньому напрямку та на 35 % у поперечному напрямку.

- тривала міцність при температурі 450 °С зразків зі сплаву ЕП-648ВІ (ХН50ВМТЮБ), отриманого методом вирощування плазмовим наплавленням дротом відповідає вимогам заданим КНІК.

Економіко-технічні розрахунки показали, що економічний ефект від використання нової технології на виробництві складає – 15 332 959 гривень за розрахунковий рік.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. **Зубков, Л.Б.** Космический метал: (все о титане) [Текст] / Л.Б. Зубков. М.: Наука, 1987 – 128 с.
2. **Симс, Ч.** Жаропрочные сплавы [Текст] / Ч. Симс, В. Хагель. Пер. с англ. — М.: Metallurgiya, 1976. – 568 с.: ил.
3. **Химушин, Ф.Ф.** Жаропрочные стали и сплавы. [Текст] / Ф.Ф. Химушин. М.: Metallurgiya, 1969. – 752 с.
4. Большая Российская Энциклопедия – ЦАГИ им. Н. Е. Жуковского, 1994. - 736 с. Часть 2:О-Я. – с.387-736.
5. **Giamei, AF, Pearson DD, Anton DL** Materials Research Society Symposium Proc. 1985, v. 39 – pp. 293-307.
6. **Каблов, Е.Н.** Никелевые жаропрочные сплавы для литья с направленной и монокристаллической структурой (часть 1) [Текст] / Е.Н. Каблов, И.Л. Светлов, Н.В. Петрушин. // «Материаловедение». – 1997. – №4 – 48 с.
7. **Туманов, А. Т.** Авіаційне матеріалознавство. [Текст] / А. Т. Туманов, Р. Е. Шалин., Д. П. Старков. М.: Наука, 1980 – 424 с.
8. **Симс, Ч.** Жаропрочные сплавы. [Текст] / Ч. Симс, В. Хагель. Пер. с англ. — М.: Metallurgiya, 1976. – 568 с.: ил.
9. **Ломберг, Б.С.** Жаропрочные деформируемые сплавы для горячего тракта газотурбинных двигателей (ГТД) [Текст] / Б.С. Ломберг, С.В Овсепян, В.Б Латышев, Е.Б Чабина. Авиационные материалы: сб. науч. тр. / ФГУП «ВИАМ». – М., 2007 – 357 с.
10. **ТУ 14-1-3046-97.** Прутки из жаропрочного сплава ХН50ВМТЮБ-ВИ (ЭП648-ВИ), ХН50ВМТЮБ-ИД (ЭП648-ИД). Технические условия. [Текст]. – Взамен ТУ 14-13046-88: введен 1997-08-01. 1997. – 18 с. (Сортовой и фасонный прокат).

11. Д-18Т – опис на сайті Мотор січ [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://www.motorsich.com/rus/products/aircraft/tde/d-18t>.
12. **500ТУМ-43** «Заготовки із сплавів ХН60ВТ (ВЖ98, ЕІ868), ХН50ВМТЮБ (ЕП 648-ВІ), вирощені методом плазмового наплавлення». Технічні умови. [Текст]. – Введено 2020-05-01. Мотор січ 2020. – 46 с.
13. 3D Printing. Light Metal Age. URL: <https://www.lightmetalage.com/news/industry-news/3d-printing>.
14. Wile R. CREDIT SUISSE: 3D Printing Is Going To Be Way Bigger Than What The 3D Printing Companies Are Saying. Business Insider, September 17, 2013. URL: <https://www.businessinsider.com.au/the-3-d-printing-market-will-be-huge-2013-9>.
15. **ISO/ASTM 52900:2015(en)**. Additive manufacturing – General principles - Terminology. [Publication Date: 2015]. 2015. – pp. 28.
16. Machine Design, April 2015 issue: What’s the Difference Between SLA and SLS? By Jeff Kerns, Technology Editor. URL: <http://machinedesign.com/3d-printing/what-s-difference-between-stereolithography-and-selective-laser-sintering>.
17. **Ding, D.**, Pan Z., Cuiuri D., Li H. Wire-feed additive manufacturing of metal components: technologies, developments and future interests. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2015. Vol. 85. P. 465–481.
18. Wire-feed additive manufacturing might be the future of metal-based 3D printing; By Simon. URL: <http://www.3ders.org/articles/20150531-wire-feed-additive-manufacturing-might-be-the-future-of-metal-based-3d-printing.html>.
19. **Баранова, Л.В.** Металлографическое травление металлов и сплавов Справочное издание. [Текст] / Л.В. Баранова, Э.Л. Демина – М.: Металлургия. 1986. – 256 с.
20. Карта исследования № 6 ИССЛЕДОВАНИЕ качества материала образцов из сплава ЭП648 (ХН50ВМТЮБ) полученных методом аддитивного выращивания. Составлена 31.01.21. – 15 с.

21. **ISO 6892-2009**. Металлы. Методы испытаний на растяжение. [Текст]. – Взамен ISO 6892-98. Введён: 2009-07-01. Технический комитет «Стандартизация метода контроля механ., металлограф. свойств металлопродукции»; М.: Изд-во стандартов, 2009. – 48 с. (Система стандартов по контролю металлопродукции).

22. **ДСТУ ISO 204:2019** Металлические материалы. Одноосное испытание на ползучесть растяжением. [Текст]. – Взамен ГОСТ 10145-81 и ГОСТ 3248-81. Введён: 2019-03-22. Технический комитет «Стандартизация метода контроля механ., металлограф. свойств металлопродукции»; М.: Изд-во стандартов, 2019. – 37 с. (Система стандартов по контролю металлопродукции).

23. **ОСТ 1 90126-85**. Сплавы жаропрочные литейные вакуумной выплавки. [Текст]. – Взамен ОСТ 1 90126-74. Введён: 1986-04-01. ГТУ МАП СССР; М.: Изд-во стандартов. 1986. – 11 с. (Сортовой и фасонный прокат – Каталог ОСТ).

25. ECN: Article titled “Navy going big on 3D printing next year” by Bryant Jordan, Defense Tech URL: http://www.ecnmag.com/news/2015/07/navy-going-big-3d-printing-next-year?et_cid=4655278&et_rid=480122371&location=top.

26. **Montevecchi, F.**, Venturini G., Grossi N., Scippa A., Campatelli G. Idle time selection for wire-arc additive manufacturing: A finite element-based technique. *Additive Manufacturing*. 2018. Vol. 21. – pp. 486.

27. **Zhang, C.**, Li Y., Gao M., Zeng X. Wire arc additive manufacturing using variable polarity cold metal transfer arc as power source. *Materials Science and Engineering: A*. 2018. Vol. 711(10). – pp. 423.

28. **Oliveira, J. P.**, Barbosa D., Fernandes F.M.B., Miranda R .M. Tungsten inert gas (TIG) welding of Ni-rich NiTi plates: functional behavior. *Smart Materials and Structures*. 2016. Vol. 25. No. 3.

29. **Соснин, Н.А.** Плазменные технологии. Руководство для инженеров. [Текст] / Н.А. Соснин, С.А. Ермаков, П.А. Тополянский. Изд-во Политехнического ун-та. СПб.: 2013. – 406 с.

30. **Вайнерман, А.Е.** Плазменная наплавка металлов. [Текст] / А.Е. Вайнерман, М.Ш. Шоршоров. М.: Машиностроение, 1969. – 192 с.

31. **Хасуи, А.** Наплавка и напыление. [Текст] / А. Хасуи, О. Моригаки. Пер. с яп. Изд-вл Москва. М.: Машиностроение» 1985. – 287 с.

32. Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-7.11- 12. – На заміну наказу МНС України від 26.12.2011 № 1350 ; чинний від 2012-03-16. – К. : МНС України, 2012. – 116 с. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0226-12>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці).

33. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-4.12-05. – На заміну ДНАОП 0.00-4.12-99, ДНАОП 0.00- 8.01-93 ; чинний від 2005-02-26. – К.: Держнагляд охорони праці України, 2005. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці).

34. Правила улаштування електроустановок [Текст]: ПУЕ-2017. – На заміну ПУЕ-86 ; чинний з 2017-08-21. – К. : Міненерговугілля України, 2017. – 617 с. – (Правила).

35. **ДСТУ 7237:2011.** Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту. [Текст]: На заміну ГОСТ 12.1.019-79. Чинний від 2011-08-01. – Київ. Госпотребстандарт України. 2011. – 16 с. – (Система стандартів безпеки праці).

36. **НПАОП 40.1-1.21-98.** Правила техніки безпеки при використанні електроспоживачів. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України. 08.02.1998 за № 93/2533. Дата введення 1998-02-20.

37. **НПАОП 0.00-1.81-18** «Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском» Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 10 квітня 2018 р. за № 433 / 31885.

38. **ДСТУ ISO 10462:2019** Газові балони. Ацетиленові балони. Періодичні перевірки та обслуговування. [Текст] - На заміну ГОСТ 949-73. Дата введення: 2020-01-01. Київ. ДП «УкрНДНЦ»; М.: Вид-во стандартів. 2020. – 34 с. – (Система стандартів охорони праці).

39. **НПАОП 0.00.-1.30-01**. Про затвердження правил безпечної роботи з інструментом та пристроями. Наказ 05.06.2001 № 252 Про затвердження Правил безпечної роботи з інструментом та пристроями. МІНІСТЕРСТВО ПРАЦІ ТА СОЦІАЛЬНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://dnaop.com/html/31688/doc-НПАОП_0.00.-1.30-01 (Нормативно-правовий акт охорони праці).

40. **НПАОП 21.0-1.01-87**. Правила з охорони праці у целюлозно-паперовій промисловості. Затверджено Мінлісбумпромом СРСР 14.08.87 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://dnaop.com/html/41231/doc-НПАОП_21.0-1.01-87 (Нормативно-правовий акт охорони праці).

41. **ДСТУ 2456-94**. Зварювання. Вимоги безпеки. [Текст]. – Введено вперше. Дата введення 1994-04-15. Київ. УкрІЗВ; К.: Вид-во стандартів. 1994. – 27 с. – (Система стандартів охорони праці).

42. **ПІ 1.1.23-007-2005**. Примірні інструкція з охорони праці для електрогазозварника. Затверджено: Наказ ДК "Укртрансгаз" № .2005" року. [Електронний ресурс]. URL: https://dnaop.com/html/58147/doc-ПІ_1.1.23-007-2005.

43. **ДСТУ EN 166:2017**. Засоби індивідуального захисту очей. Технічні умови. [Текст]. – На заміну ДСТУ EN 166-2001. Київ. ДП «УкрНДНЦ»; К.: Вид-во стандартів. 2017. – 25 с. – (Система стандартів охорони праці).

44. **ГОСТ 12.1.005-88**. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони. [Текст]. – На заміну ГОСТ 12.1.005-76. Введено 1988-08-29. Відновлено наказом «Українського науково-дослідницького центру проблем стандартизації, сертифікації та якості» від 24 квітня 2019 року №111 «Про відновлення дії міждержавних стандартів». 1988. – 36 с. – (Система стандартів охорони праці).

45. **ДСТУ EN ISO 11611:2016.** Одяг захисний для використання під час зварювання та суміжних процесів. [Текст]. – На заміну ДСТУ EN 470-1:2003. Дата введення 2017-10-01. – ТК «Безпека промислової продукції та засоби індивідуального захисту працюючих». 2017. – 28 с. – (Система стандартів охорони праці).

46. **ДСТУ EN ISO 10218-1:2014.** Роботи та роботизовані пристрої. Вимоги безпеки для промислових роботів. [Текст]. - На заміну ДСТУ 3738-98 Дата введення 2014-12-29. – ДП «УкрНДНЦ». 2014. – 42 с. – (Система стандартів охорони праці).

47. Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями [Електронний ресурс]: НПАОП 0.00-1.71-13. – Чинний від 2014- 03-28. – К.: Міненерговугілля України, 2013. – 59 с. – URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0327-14>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці).

48. **ПІ 1.3.10-450-2006.** «Примірна інструкція з охорони праці при виконанні робіт з кислотами і лугами». Чинний від 12.09.2006 – Київ: ДержНДІТБХВ. 2006.

49. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин [Електронний ресурс]: ДСанПіН 3.3.2.007-98. – Чинний від 1998-12-10. – К. : МОЗ України, 1998. – URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=2445>. – (Державні санітарні правила та норми).

50. Природне і штучне освітлення. [Текст]: ДБН В.2.5-28-2018. – На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01. – К. : Мінрегіон України, 2018. – 133 с. – (Державні будівельні норми України).

51. **ДСН 3.3.6.042-99** «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». [Текст]. – На заміну ДСН 3.3.6.042.93. Дата введення 1999-12-01. – Київ. Міністерство охорони здоров'я України. 1999. – 12 с. – (Санітарні норми України).

52. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні. [Текст]. – Затверджено: Міністерство юстиції України. Наказ від 30.12.2014 № 1417 Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні. – 2014. – 85 с. (Правила пожежної безпеки).

Дубл.			
Замі.			
Підп.			

Розроб.	Котов	
Перев.	Лаптева	
Н. контр	Шумикін	
	Листів 3	Лист 1

ГКІО 10532021.000 ПЗ			
		ДП	

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

УЗГОДЖЕНО

МАРШРУТНА КАРТА

На технологічний процес вирощування
кільця направляючого апарату двигуна
Д-18Т

ЗАТВЕРДЖУЮ

Нормоконтроль, к.т.н., доц. С.О. Шумикін
Дата _____
Впроваджено у виробництво
Акт № _____ Дата _____

Зав. Кафедри ОТЗВ д.т.н., проф. О.В. Овчинников
Дата _____

Комплект документів відповідає

										Листів 3			Лист 2	
Розроб.										ГКІЮ 10532021.000 ПЗ				
Перевір.														
Н. контр.														
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, найменування операції					Позначення документа				
Б	Код, найменування обладнання				СМ	Проф.	Р	УП	КОВД	ОН	ОП	Кшт	Тпз	Тшт
К/М	Найменування деталі, скл. Одинці або матеріалу				Позначення, код					ППП	ОВ	ОН	КД	Н. расх
01	177	05		061	Вирощування плазмове								0,2	50
02	Зварювальний робот FANUC M-710iC				Оператор-зварювальник 3 р.									
03	Підкладка під вирощування				Режим:									
04	Ст 20 / цільнотягнутий дріт ЕП-648ВІ діаметр 1 мм				$I_{зв} = 115 \text{ А}; V_{зв} = 1,5 \text{ м / с}; V_{др} = 0,8 \text{ м / хв}$									
05														
06	177	29		015	Токарно-гвинторізна обробка								0,2	2
07	Токарний станок				Токар 4 р.									
08	Вирощена заготовка кільця ВНА													
09	ЕП-648ВІ													
10	Обробка поверхні під подальше вирощування													
11														
12	177	05		061	Вирощування плазмове								0,2	25
13	Зварювальний робот FANUC M-710iC				Оператор-зварювальник 3 р.									
14	Заготовка кільця ВНА				$I_{зв} = 105 \text{ А}; V_{зв} = 1,5 \text{ м / с}; V_{др} = 0,8 \text{ м / хв}$									
15	ЕП-648ВІ / цільнотягнутий дріт ЕП-648ВІ діаметр 1 мм													
16														
17	3	06		007	Термічна обробка (гартування, старіння)								0,2	1
18					Оператор 3 р.									
19	Пічна установка для термічної обробки				Режими:									
20	Заготовка кільця ВНА				Гартування: $T = 1040 \text{ }^\circ\text{C}$. Старіння: $T = 900 \text{ }^\circ\text{C}; \tau = 10 \text{ ч.}$									
21	ЕП-648ВІ													

