

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

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 зовнішньої камери
згорання двигуну AI-450 на базі адитивних технологій»

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи ІФ-311м

Спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Технології та устаткування зварювання

Д.В. Урекін
(прізвище та ініціали)

Керівник Г.М. Лаптева
(прізвище та ініціали)

Рецензент М.О. Гнатенко
(прізвище та ініціали)

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

Інститут, факультет: 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 _____

Ефименко
« _____ » _____ 20__ року

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

Урекін Данило Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи): Розробка технології виготовлення зовнішньої камери згорання двигуна AI-450 на базі адитивних технологій з проектуванням 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 « 05 » грудня 2022 року № 414

2. Строк подання студентом проекту (роботи) « 11 » грудня 2022 року.

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. Матеріали в авіабудуванні; 2. Будова характеристики і умови роботи двигуна AI-450 та об'єкту розробки; 3. Розробка технології виготовлення КЗВ; 4. Обладнання; 5. Дослідження зразків з ВЖ-98 отриманих методом адитивного вирощування; 6. Техніко-економічні розрахунки; 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

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

1. Зовнішній вид та характеристики двигуна AI-450; 2. Характеристика матеріалу виробу; 3. Етапи існуючої технології виготовлення кільця; 4. Розроблена технологія виготовлення виробу з використанням адитивних технологій; 5.

Параметри режиму вирощування зразків для досліджень; 6. Дослідження вирощених зразків; 7. Дослідження механічних властивостей вирощених зразків.

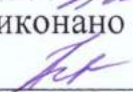
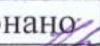
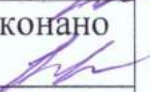
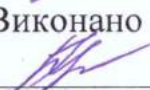
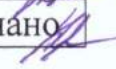
8. Техніко-економічні розрахунки; 9. План ділянки

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Відповідні розділи	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Інженерно-технічна частина	Г.М. Лаптева, доцент		
Економічні розрахунки	В.В. Круглікова, доцент		
Охорона праці	О.В. Нестеров, зав. кафедри ОПНС		

7. Дата видачі завдання « 10 » жовтня 2022 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ	13 жовтня	Виконано 
2	Аналіз вихідних даних та технічного завдання проекту	20 жовтня	Виконано 
3	Літературний огляд	28 жовтня	Виконано 
4	Розробка технології виготовлення виробу	15 листопада	Виконано 
5	Дослідження властивостей вирощених зразків та обробка результатів	25 листопада	Виконано 
6	Техніко-економічні розрахунки	1 грудня	Виконано
7	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	5 грудня	Виконано
8	Висновок	7 грудня	Виконано 
9	Виконання креслень та додатків	10 грудня	Виконано 

Студент(ка)  Д.В. Урекін
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)  Г.М. Лаптева
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проєкту: 98 с., 30 рис., 21 табл., 1 додаток, 52 літературних джерел.

КАМЕРА ЗГОРАННЯ, ЖАРОМЦІНИЙ СПЛАВ, ВИРОЩУВАННЯ,
АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ПЛАЗМА, МІКРОСТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ

Об'єкт розробки – технологія виготовлення камери зовнішнього згоряння двигуна AI-450.

Мета роботи – розробка технології адитивного плазмового вирощування виробу з жароміцного матеріалу марки ВЖ98.

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 to the diploma project: 98 pages, 30 figures, 21 tables, 1 addition, 52 literature sources.

COMBUSTION CHAMBER, HOT-TEMPERED ALLOY, GROWING, ADDITIVE TECHNOLOGIES, PLASMA, MICROSTRUCTURAL ANALYSIS

Object of development - manufacturing technology of the external combustion chamber of the AI-450 engine.

The purpose of the work - development of the technology of additive plasma growth of a product made of heat-resistant material of the «БЖ98» brand.

The product manufacturing area's plan and the growing technology were designed.

Samples were produced, mechanical properties and microstructure of the samples were studied.

Labor protection measures are provided

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Матеріали в авіабудуванні	9
1.1 Вибір матеріалу в авіабудуванні.....	9
1.2 Жароміцні сплави та їх види.....	9
1.3 Якості сплаву ВЖ 98.....	13
2 Будова характеристика і умови роботи двигуна AI-450 та тб'єкту розробки	15
2.1 Будова двигуна AI-450 і його модифікації.....	15
2.2 Об'єкт розробки та умови роботи деталі.....	18
3 Розробка технології виготовлення КЗВ	20
3.1 Класична технологія виготовлення та її недоліки.....	20
3.2 Базові принципи адитивного вирощування	21
3.3 Технологія вирощування деталі	27
3.4 Технологія вирощування заготовки	30
4 Обладнання	35
5 Дослідження зразків з ВЖ 98 отриманих методом адитивного вирощування....	41
5.1 Мікроструктурний аналіз металу зразка до термообробки	43
5.2 Мікроструктурний аналіз металу зразка після термообробки	45
5.3 Перевірка механічних властивостей	48
6 Техніко-економічні розрахунки.....	56
6.1 Розрахунок собівартості та економічного ефекту	61
7 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	68
7.1 Аналіз потенційних небезпек	68
7.2 Заходи забезпечення безпеки:.....	70
7.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці.....	78
7.4 Заходи з пожежної безпеки.	85
Висновки	87
Перелік джерел посилання	89
Додаток 1	896

ВСТУП

В наш час активного розвитку все більше набувають технології адитивного виготовлення деталей і заготовок для авіації та космічних ракет. Основним чинником для поширення цієї технології стало суттєве зменшення ціни виготовлення виробу, а також супровідних переваг у порівнянні з класичними методами виготовлення.

Виготовлення заготовок деталей авіадвигунів за класичними технологіями, такими як лиття та ковка заготовок та наступна механічна обробка болванок чи поковок мають ряд основних недоліків;

- малий КВМ (коефіцієнт використаного матеріалу) враховуючи те, що в більшості деталі виготовляються з легких (алюмінієвих, магнієвих, титанових) і жароміцних та жаростійких сплавів які мають велику коштовність, особливо жароміцні та жароміцні сплави;

- затрати на виготовлення і розробку необхідного додаткового обладнання, оснасток, прес-форм і кокілів. Такий підхід є доцільним коли виготовлюється велика партія заготовок, тоді затрати на виготовлення і проектування додаткового обладнання нівелюється великою кількістю виготовлених заготовок. І навпаки невеликі партії заготовок будуть мати ціну набагато більшу у порівнянні з великою серією.

Адитивний метод вирощування (АДД) дозволяє в більшій ступені вирішити ці недоліки, а саме:

- дає можливість зменшити затрати на КВМ за допомогою повторення основної фактури деталі з не великим припуском, що підвищує КВМ;

- економія на допоміжному обладнанні яке виготовляється з відносно дешевих матеріалів (Ст3, Ст10, Ст20), та має можливість багаторазового використання з можливістю дороблення не знімаючи з обладнання у разі зміни конфігурації деталі.

Таким чином технологія АДД являє собою край ефективний металургійний метод у певних високотехнологічних галузях виробництва, та найкраще себе оправдує коли є необхідність виготовлення малої та серійної кількості деталей чи при разовому виготовленні деталі для конструкторських випробувань. Перевага цього метода також полягає в уніфікації оскільки дозволяє отримати готовий виріб практично з будь-якого матеріалу по заданій CAD-моделі пошарово з максимальною точністю. Механічні властивості вирошеного матеріалу отриманого за цими технологіями не нижче за прокатний матеріал, а у більшості випадків вище на 10% ніж для литих сплавів.

Виготовлення заготовок з жароміцних сплавів, АДД методом дозволяє доволі суттєво скоротити час від етапу проектування до етапу отримання деталі виключивши з технологічного процесу етапи виготовлення моделей і прес-форм і, таким чином, реалізувати конструкторський проект в найкоротші терміни.

1 МАТЕРІАЛИ В АВІАБУДУВАННІ

1.1 Вибір матеріалу в авіабудуванні

В авіабудуванні у більшості вибір матеріалів має практичне значення та націлені на виконання двох функцій – зменшення маси матеріалу без втрати міцності і наявність підвищених характеристики для роботи в особливо навантажених вузлах зі специфічними умовами робіт. 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.

Однозначно можна сказати, що метали в літакобудуванні повинні мати: високу міцність і достатню пластичність, хімічну стійкість в атмосферних умовах та хімічну стійкість при підвищених температурах, забезпечувати простоту і дешевизну збору елементів конструкції а також мати можливість ремонту. Таким чином, доцільне застосування матеріалу впливає на рівень технічної експлуатації, збільшення часу роботи та підвищенню надійності авіаційної техніки.

1.2 Жароміцні сплави та їх види

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 зразки жароміцної сталі для газотурбінних двигунів були розроблені в Німеччині фірмою «Krupp» в 1936-1938 роках. Ця компанія розробила та виготовила аустенітну сталь з дисперсійним твердненням (Ni_3Ti) і карбідним зміцненням, вона створювалася як матеріал робочих лопаток турбіни на температури 600-700°C і отримала назву «Тінідур». У період з 1943 по 1944 рік виробництво «Тінідур» становило 1850 тонн. Інститутом DVL та фірмою «Heraeus» Vacuumsmelze були розроблені аустенітні сталі (сплави по англійській термінології) DVL42 і DVL52 на більш високі робочі температури 750-800°C [5].

З появою перших турбореактивних двигунів в Германії інші країни почали свої розробки двигунів, а з ним почалась розробка жароміцних матеріалів. В 1942 року у Великобританії було створено Вільямом Гріффітсом жароміцний сплав «Nimonic-80» - перший в серії високожаропрочних дисперсійно-твердіючих сплавів на нікель-хромовій основі. Основа сплаву «Nimonic-80» – ніхром (80% Ni - 20% Cr), який був відомий з початку XX століття своєю високою жаростійкістю і високим електричним опором. Кількість зміцнюючої гамма-штрих фази в сплаві становило 25-35%.

Одним з ключових 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].

Як правило жароміцні сплави мають основу на алюмінії, титані, залізі, міді, кобальті і нікелі. В авіабудуванні найбільш широкого застосування в авіаційних двигунах отримали нікелеві і кобальтові жароміцні сплави, з яких як правило

виготовляють соплові лопатки, диски ротора турбіни, деталі камери згоряння. Жароміцні сплави також поділяються в залежності від технології виготовлення

Вони можуть бути ливарними, деформованими і порошковими. Найбільшу жароміцність мають ливарні високолеговані сплави які здатні працювати до температур 1050-1100°C протягом сотень і тисяч годин при високих статичних і динамічних навантаженнях.

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

Ливарні жароміцні сплави на основі нікелю відносяться до класу дисперсійно-твердуючих 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' -солідуса. 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 1,5-2%. Таким чином, фазовий склад ЖНС складається з високолегованого 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), 5-10% кобальту (Co), а також невеликі кількості бору (B), цирконію (Zr) і вуглецю

(С). Іноді додаються молібден (Mo), вольфрам (W), ніобій (Nb), тантал (Ta) і гафній (Hf) [7].

Легуючі елементи в цих сплавах можна згрупувати наступним чином:

1. Елементи, що утворюють з Ni аустенітну γ' -матрицю з гранецентрованою кристалічною ґраткою - Co, Fe, Cr, Mo і W.
2. 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.
3. 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]:

- 1) гамма-фаза (γ) - матрицею з г.ц.к. кристалічною ґраткою. У твердому розчині цієї фази міститься велика кількість Co, Cr, Mo, W;
- 2) 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;
- 3) карбіди. Вміст вуглецю в сплавах відносно невеликий (0,05-0,2%). Він з'єднується з карбідоутворюючими елементами - Ti, Ta, Hf;
- 4) зерногранічна γ' фаза. Ця фаза утворюється у вигляді плівки по межах зерен у процесі термічної обробки;
- 5) бориди. Виділяються по межах зерен у вигляді рідких частинок;
- 6) 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.

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.

1.3 Якості сплаву ВЖ98

Жаростійкий та жароміцний сплав ВЖ 98 чи інші його назви ХН60ВТ і ЭИ 868, має нікелеву основу з хімічним складом таб. 1.1 і механічними властивостями таб. 1.2.

Таблица 1.1 – Хімічний склад сплаву ВЖ98

Хімічний елемент	Fe	C	Si	Mn	Ni	S
Масова частка, %	< 4	< 0,1	< 0,8	< 0,5	50,8-63,2	< 0,013
Хімічний елемент	S	P	Cr	W	Ti	Al
Масова частка, %	< 0,013	< 0,013	23,5-26,5	13-16	0,3-0,7	< 0,5

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сплаву ВЖ 98

Температура, °С	Межа текучості, МПа	Тимчасовий опір розриву, МПа	Відносне подовження, %	Відносне звуження, %
20	350	800	≥40	≥30
900	380	400	-	≥50

Температура експлуатації цього сплаву, що рекомендується, протягом тривалого часу може досягати +1000 °С. Він застосовується для виготовлення холоднокатаної стрічки; прутків гарячекатаних та кованих; листових деталей двигунів та турбін, що працюють при температурах до +1000 °С; зварних непрофільованих та профільованих кілець з гарячекатаних та пресованих профілів; зварювального дроту, що застосовується для наплавлення деталей та зварювання металоконструкцій в енергетичному машинобудуванні; зварювальних електродів.

2 БУДОВА ХАРАКТЕРИСТИКА І УМОВИ РОБОТИ ДВИГУНА АІ-450 ТА ОБ'ЄКТУ РОЗРОБКИ

2.1 Будова двигуна АІ-450 і його модифікації

Двигун АІ-450 (рис.2.1) — це турбовальний двороторний двигун розроблений «Івченко-Прогрес». Вперше був запущений в серійне виробництво у 1988 році і призначався для легких вертольотів і літаків у класі злітної ваги 1500-4000 кг.



Рисунок 2.1 Двигун АІ-450

АІ-450 виконаний по двороторній схемі, що включає ротор газогенератора і ротор вільної турбіни. Вільна турбіна обертаючись передає потужність на редуктор, який встановлений спереду двигуна, через вал, що проходить всередині валу ротора газогенератора. Ротори встановлені на двох підшипникових опорах які вмонтовані в статор двигуна.

Одноступінчатий компресор включає в себе відцентрове колесо, радіальний лопатковий дифузор і осьовий спрямляючий апарат. Передній корпус компресора

є силовим елементом двигуна, в якому розташована передня опора ротора газогенератора. Камера згоряння кільцевого типу та виконана з поворотом на 180°. Турбіна компресора надзвукова, одноступінчата з охолоджуваними сопловими і робочими лопатками, виготовленими з жароміцного сплаву. Вільна турбіна осьова, одноступінчата, неохолоджувана.

Від часу виготовлення і по наш час цей двигун зазнав не мало модернізаційних заходів, окрім першої, базової, моделі AI-450 ще існують:

- AI-450M — призначений для установки на модернізований вертоліт Мі-2М і вертольоти багатоцільового призначення;

- AI-450-МС — сучасна двовальна допоміжна силова установка з еквівалентною потужністю 222 кВт. Призначена для використання на пасажирських літаках Ан-148 та інших літаках різного призначення;

- AI-450ТП — форсована версія базового двигуна (>12,8 %.)

- AI-450C/AI-450C-2 — сучасний варіант для двох- та одnodвигунних літаків авіації загального призначення, використовується на Diamond DA-50-JP7 та Evektor EV-55 (модифікація AI-450C-2)

- AI-450CP-2 — новітній варіант двигуну для одnodвигунового навчально-тренувального літака TA-20, розробки компанії «Central European Aircraft Design»

- AI-450T/AI-450T2 — Авіаційний турбовальний двороторний двигун який використовується у складі безпілотних літальних апаратів різного призначення.

Характеристики найрозповсюджених моделей переведені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 технічні характеристики деяких модифікацій двигуна AI-450

Модифікація			
	AI-450M AI-450M1	AI-450M-Б	AI-450M-П AI-450M1-П
Злітний режим (H=0; M=0; MCA)			
Потужність, к.с.	400	430	465
Підтримується до t, °C	+30	+25	+15
Витрати палива, кг/к.с.	0,28	0,28	0,28
Аварійний режим в продовж 30 хв. (H=0; M=0; MCA)			
Потужність, к.с.	400	430	465
Підтримується до t, °C	+40	+40	+30
Крейсерський режим (H=0; M=0; MCA)			
Потужність, к.с.	285	300	300
Підтримується до t, °C	+30	+25	+25
Витрати палива, кг/к.с.	0,32	0,31	0,32
Маса двигуна, кг	115	115	115

2.2 Об'єкт розробки та умови роботи деталі

Об'єктом розробки становить деталь камери зовнішнього згорання рис. 2.1

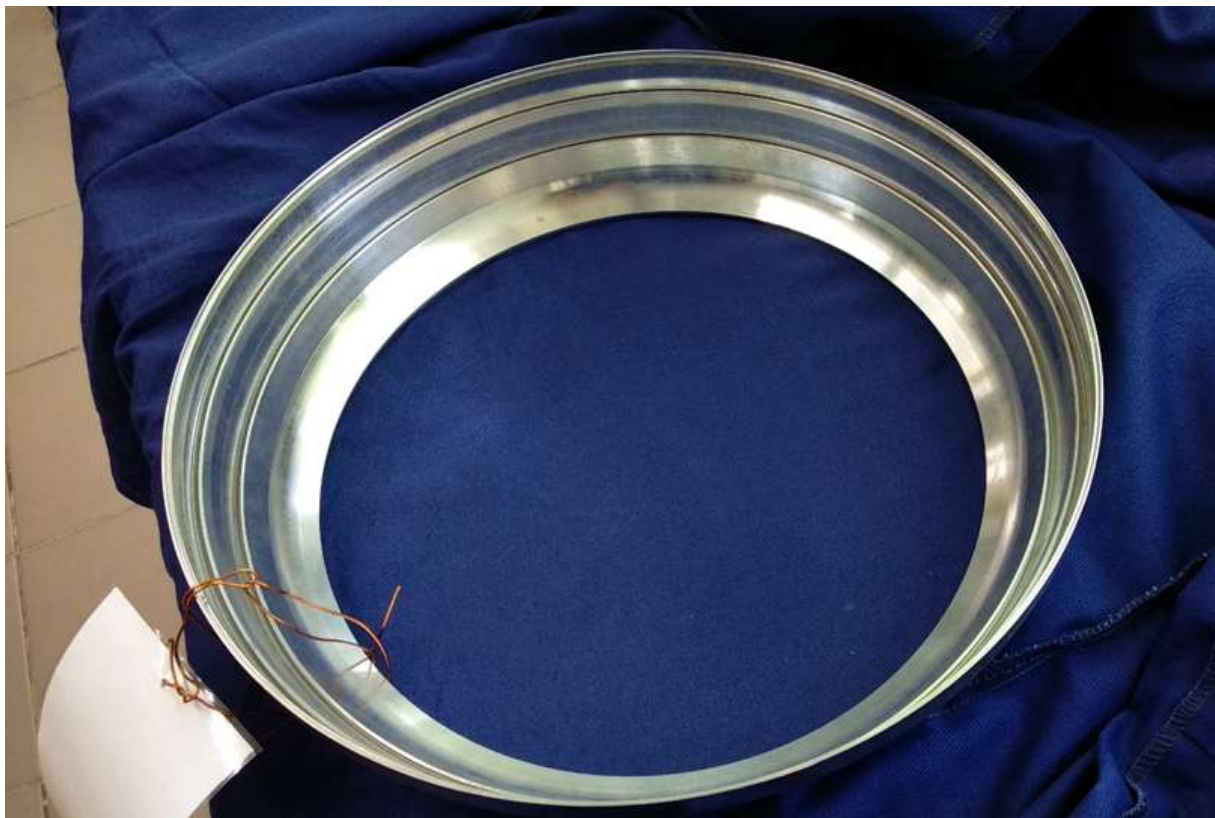


Рисунок 2.1 Деталь зовнішньої камери згорання

Так як камера згорання (рис 2.2) працює в умовах високої температури яка сягає 900 °С. Для того, щоб вона змогла зберігати свої механічні властивості і водночас чинити опір газовій корозії, то до неї необхідно використати відповідні матеріали. Вони повинні надати змогу впевнено витримувати навантаження в умовах підвищеної температури і вібраційних навантажень.

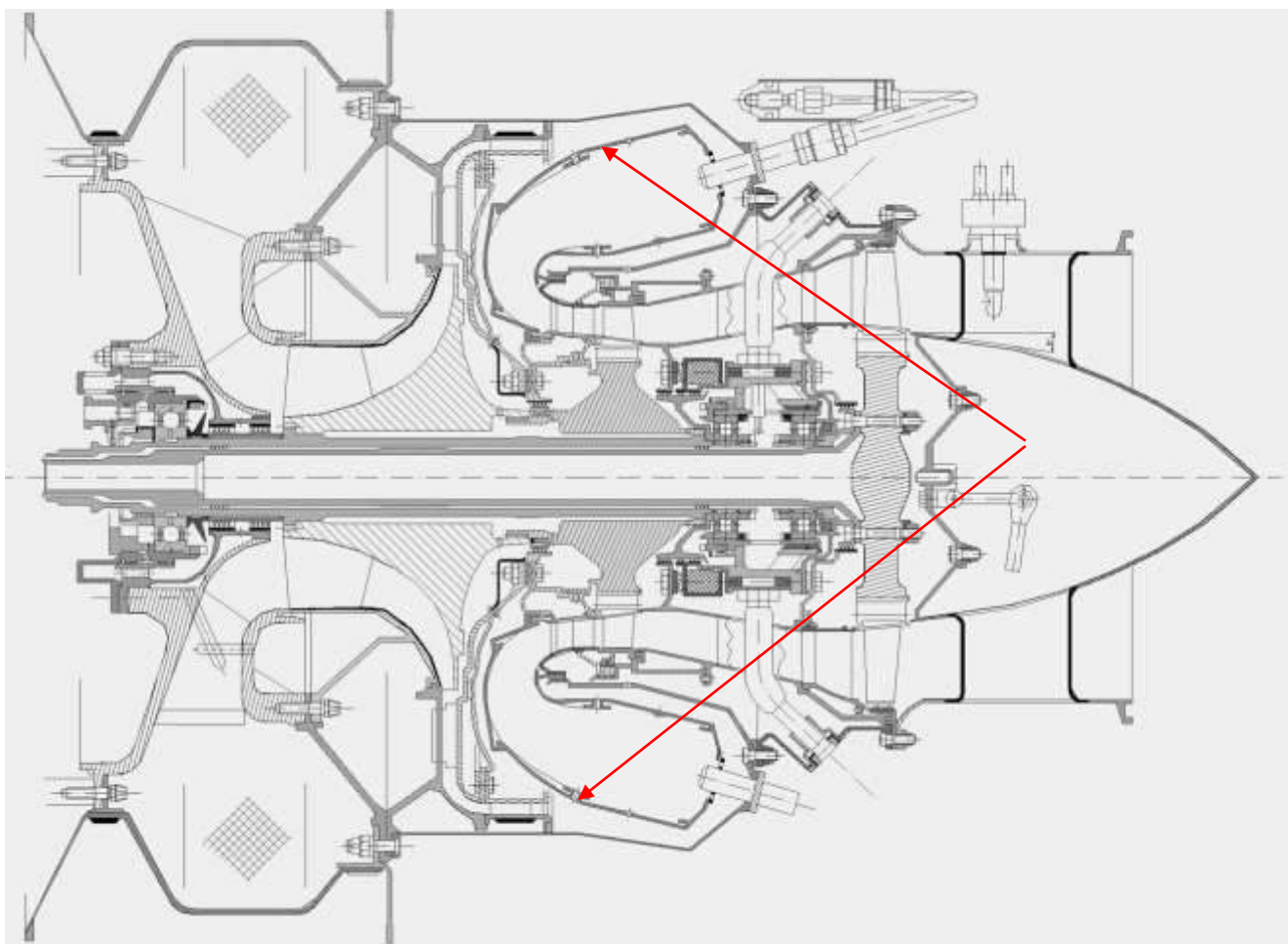


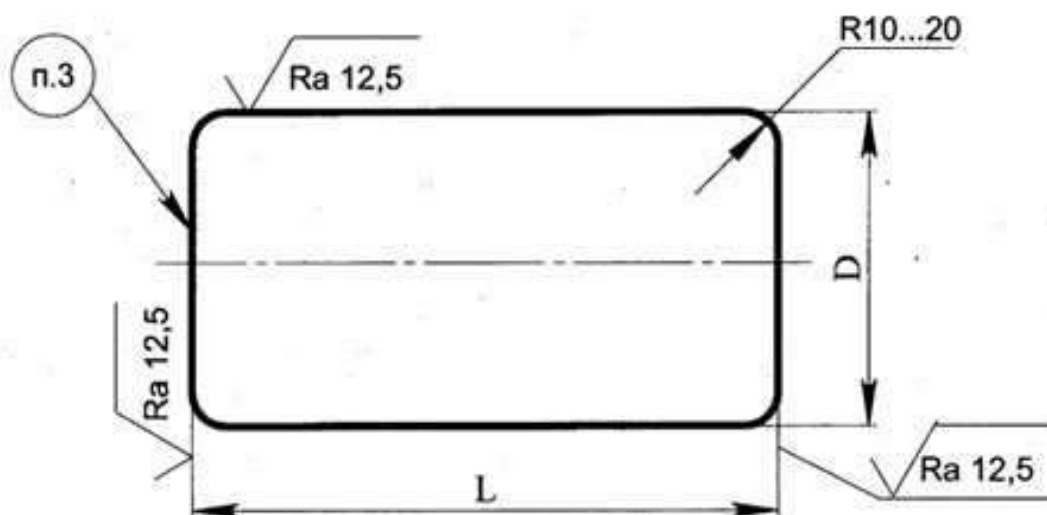
Рисунок 2.2 Схема будови двигуна у розрізі з вказанням камери згорання

При цій температурі більшість сплавів не зможуть зберегти свої механічні властивості, а також схильні к газової корозії. У таких умовах сподобні працювати жаростійкі і жароміцні сплави, якраз для виготовлення цієї деталі використовують жаростійкий сплав ВЖ98 який може витримувати температуру до 1000°C і навантаження які прикладаються до неї під час роботи двигуна. Щоб деталь не зруйнувалась під час роботи і не викликала аварійну ситуацію вона повинна відповідати вимогам: ГОСТ 22411-77, тільки у цьому разі можливо гарантувати, що цей елемент буде надійним.

3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ КЗВ

3.1 Класична технологія виготовлення та її недоліки

Класична технологія виготовлення зовнішньої камери згоряння передбачає досить тривалий і коштовний процес; спершу деталі виготовляють з двох поковок, які зварюють разом в одну болванку (рис. 3.1), після чого проковують болванку у гарячому стані до потрібних розмірів, далі поковка проходить етап термообробки і вже в кінці обточується на токарних верстах в декілька етапів.



$D-120\pm 4,5$ мм; $L-300$ мм

Рисунок 3.1 Розмір поковки для виготовлення деталі

Стара технологія виготовлення дуже трудоемка, має високу ціну виготовлення, займає великий проміжок часу та потребує значних витрат на підготовку оснащення та персоналу, потребує значної кількості дорогих і спеціалізованих верстатів, і прес-форм.

Найбільш суттєвим недоліком старої технології є дуже малий коефіцієнт використаного матеріалу (КВМ), який в процесі механічної обробки заготовки,

фактично перетворюється в стружку і не використовується повторно, що призводить до збільшення собівартості готового виробу. Особливо виразно це відображається при використанні жароміцних та жаротрмких сплавів які мають велику ціну і в великій кількості використовуються при виготовленні двигунів. Слід наголосити, що при виготовленні деталей частіше всього КВМ складає <10%.

3.2 Базові принципи адитивного вирощування

Технологія тривимірного друку з'явилася в кінці 1980-х років. Перші апарати були вкрай дорогими, а вибір матеріалів для створення моделей - обмеженим. Але технологія досить видко почала активний розвиток оскільки мала вагомі перспективи. Вже сьогодні капіталізація ринку 3-Д друку становить 5 млрд доларів, щорічне зростання ринку адитивних технологій становить 15%. Перспективність технології визначається тим, що питома витрата матеріалів на виробництво деталей при використанні адитивних методів зменшується майже у 10 разів, та у середньому у 5 разів знижуються трудовитрати. 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.

Адитивне виробництво - узагальнена назва технологій, які передбачають виготовлення виробу за даними тривимірної цифрової моделі методом пошарового

додавання (англ. Add - додавати, звідси і назва) матеріалів. Методи наплавлення вдають із себе групу нових технологій, які дозволяють створити функціональний тривимірний об'єкт з різних матеріалів, так само включаючи сплави металів, шляхом пошарового нанесення матеріалу до досягнення кінцевої форми.

Адитивні технології виробництва дозволяють виготовляти будь-який виріб пошарово на основі комп'ютерної моделі 3D. Такий процес створення об'єкта також називають вирощуванням через поступовість виготовлення. Якщо при традиційному виробництві на початку ми маємо заготівлю, від якої потім відсікаємо все зайве або деформуємо її, то у разі адитивних технологій з нічого (а точніше, з аморфного витратного матеріалу) вибудовується новий виріб. Залежно від технології, об'єкт може будуватися знизу вгору або навпаки, отримувати різні властивості.

З розвитком адитивних технологій набула потреба створення нових стандартів і вимог, таким стандартом став: ISO/ASTM 52900:2015, в якому було встановлене визначення для поняття адитивні технології: процес з'єднання матеріалів для створення деталей за даними 3D-моделі, пошарового вирощування.

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

1. 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.

Електронно променева установка яка працює в вакуумній камері здатна робити зразки які будуть мати чисту не окислену поверхню з гарним формуванням (рис 3.2)

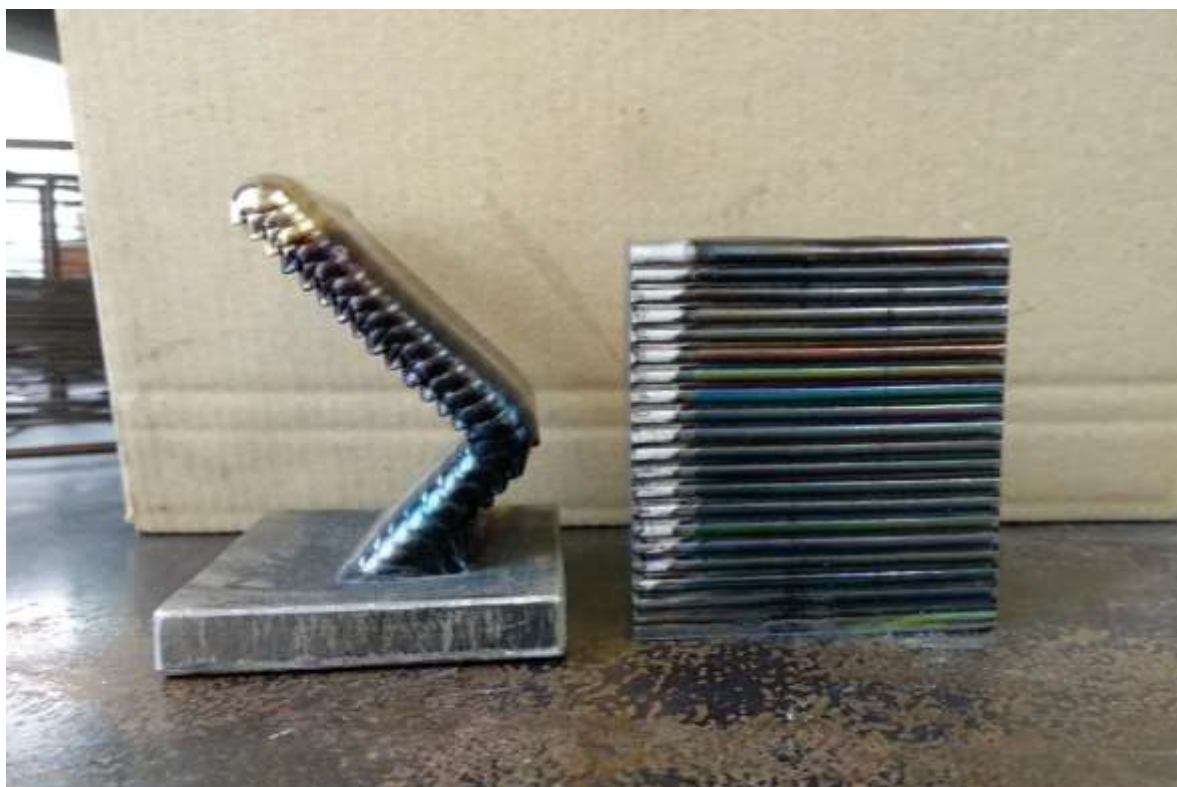


Рисунок 3.2 Зразки отримані на електронно променевій установці з матеріалу VT6

2. 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) (рис 3.3)



Рисунок 3.3 Крішка поршня зі складною внутрішньою структурою з титанового сплаву.

3. 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.

Також додатково можна виділити підвиди технологій адитивного виробництва які набули поширення:

- FDM (Fused deposition modeling) – пошарова побудова виробу із розплавленої пластикової нитки чи металу. Це найпоширеніший спосіб 3D-друку у світі, на основі якого працюють мільйони 3D-принтерів. FDM-принтери працюють з різними типами пластиків, найпопулярнішим і найдоступнішим з яких є ABS. Вироби із пластику відрізняються високою міцністю, гнучкістю, чудово підходять для тестування продукції, прототипування, а також виготовлення готових до експлуатації об'єктів.

- SLM (Selective laser melting) – селективне сплавлення лазерних металевих порошків. Найпоширеніший метод 3D-друку металом. За допомогою цієї технології можна швидко виготовляти складні за геометрією металеві вироби, які за своїми якостями перевершують ливарне та прокатне виробництво.

- SLS (Selective laser sintering) – селективне спікання полімерних порошків. За допомогою цієї технології можна отримувати великі вироби з різними фізичними властивостями

- SLA (скорочено від Stereo lithography) – лазерна стереолітографія, затвердіння рідкого фотополімерного матеріалу під дією лазера. Ця технологія адитивного цифрового виробництва орієнтована виготовлення високоточних виробів з різними властивостями.

- MJM (Multi-jet Modeling) - багатострумене моделювання за допомогою фотополімерного або воскового матеріалу. Ця технологія дозволяє виготовляти майстер-моделі для лиття, що випалюються або виплавляються, а також прототипи різної продукції.

- PolyJet – затвердіння рідкого фотополімеру під впливом ультрафіолетового випромінювання. Технологія використовується для отримання прототипів та майстер-моделей з гладкими поверхнями.

- CJP (Color jet printing) – пошарове розподіл клеючої речовини по порошковому гіпсовому матеріалу. На сьогоднішній день це єдина промислова технологія повнокольорового 3D-друку. З її допомогою виготовляють яскраві барвисті прототипи продукції для тестування та презентацій, а також різноманітні сувеніри, архітектурні макети.

За американською номенклатурою цей метод адитивного вирощування металевих деталей за допомогою зварювального джерела розшифровується як; Wire + Arc Additive Manufacturing (WAAM) – це металургійний метод, що дозволяє одержувати готові, вироби з мінімальним припуском на обробку, в найкоротші терміни шляхом пошарового нанесення присадного дроту у джерело нагріву до досягнення кінцевої форми (рис. 3.4)



Рисунок 3.4 вирощена піраміда із дроту СВ08Г2С, за технологію WAAM

WAAM класифікується стандартами ASTM F2792–12a як метод прямого вирощування і визначається як комбінація електричної дуги, яку використовують як джерело нагріву, і дроту, використовуваного як вихідний матеріал. WAAM спирається на фундаментальні концепції автоматизованих процесів зварювання, таких як: дугове зварювання металевим газом, мікро плазмове зварювання і зварювання в інертних газах з вольфрамовими електродами, лазерне та плазмове зварювання.

В останні роки WAAM мав різні позначення такі як: «зварювання в формі», «плавлення в формі» й «3D–зварювання».

Серед наявних процесів дугового наплавлення, наплавлення електродом що плавиться, є найбільш розповсюдженим процесом у WAAM. Швидкість вирощування даного процесу варіюється від 15 до 160 г/хв, в залежності від типу матеріалу і параметрів процесу і застосовується для виробництва багато габаритних деталей в короткі проміжки часу.

3.3 Технологія вирощування деталі

Як вже було вказано раніше об'єктом розробки внутрішня камера згорання з жароміцного сплаву ВЖ98. Метод адитивного вирощування цієї деталі базується на багаторазовому накладенні шарів металу один на інший по одній траєкторії зі зміщенням по вертикалі що відповідає стандартам WAAM за ASTM F2792–12a чи Directed Energy Depositioза ISO/ASTM 52900:2015. Зміщення по вертикалі відносно траєкторії руху пріоритетне, бо значно простіше програмується, менша ймовірність утворення не сплавлень між шарами, отримується формування з меншою шорсткістю, і не утворюється напливи по краю. Але якщо потрібно виготовляти деталі складної форми траєкторію руху можливо змінити і додати невелике зміщення по іншим осям (X і Y) і площинам для кожного наступного наплавленого шару.

У нашому випадку для вирощування ми застосовуємо плазмове джерело тепла з подачею дроту у стовб плазми.

Плазмове зварювання має важливі переваги та пропонує привабливу альтернативу лазерному зварюванню, де потрібна висока якість, особливо для металевих листів та інших компонентів.

Однак, на відміну від зварювання TIG, дуга звужується та концентрується через мідне сопло. Дуга з високою щільністю потужності забезпечує набагато вищі швидкості зварювання порівняно з TIG – часто можна досягти збільшення на 100% або більше; Це не тільки економить час і гроші, але й глибше проплавлення зварного шва є додатковою перевагою. Вольфрамовий електрод має набагато довший термін служби, оскільки він розташований усередині плазмового сопла й таким чином захищений від забруднення.

Використання пілотної дуги для ініціювання переданої зварювальної дуги усуває ризик високочастотних перешкод для автоматизованого обладнання. Часто

можна зробити 10 000 або більше зварних швів, перш ніж електрод потребує заміни.

Зварювальний матеріал може бути як у вигляді порошку, розпиленого газом, так і у вигляді холодного дроту що транспортується у зварювальну ванну, де захисний газ захищає його від атмосфери. Плазмову дугу та надходження тепла можна контролювати набагато краще, ніж звичайну електричну дугу, і енергія майже повністю витрачається на розплавлення присадочного металу, зменшуючи надходження тепла та розрідження до мінімуму.

Необхідною перевагою є інтерфейс автоматизації який дозволяє використовувати пристрій у роботизованих і автоматизованих програмах.

Вибір плазмового джерела тепла з подачею цільнометалевого дроту пояснюється:

1. Цей метод відзначається високою стабільністю дуги, проплавлення і геометрію шва.
2. В більшій частині деталі переважає дрібнокрапельний чи струнний перенос металу. Тільки на краях коли відстань між торцем плазмообразуючого сопла і зварювальної ванни збільшується, тоді може відбуватися крупнокрапельний перенос металу.
3. Висока щільність енергії дуги і швидкість зварювання, що дає мінімальні деформацію металу від нагріву.
4. Кращий захист, практично відсутнє розбризкування у порівнянні з MIG методом.

Сам плазмотрон має доволі простий спосіб роботи (рис 3.5). Дуга горить між вольфрамовим електродом та деталлю на прямій полярності і обдувається плазмообразуючим газом, який обжимає і концентрує плазму. Струмінь плазми нагріває метал до температури плавлення утворюючи зварювальну ванну, у цей час подається зварювальний дріт у потік плазми. Під дією температури дріт моментально розплавляється і утворені краплі падають у зварювальну ванну.

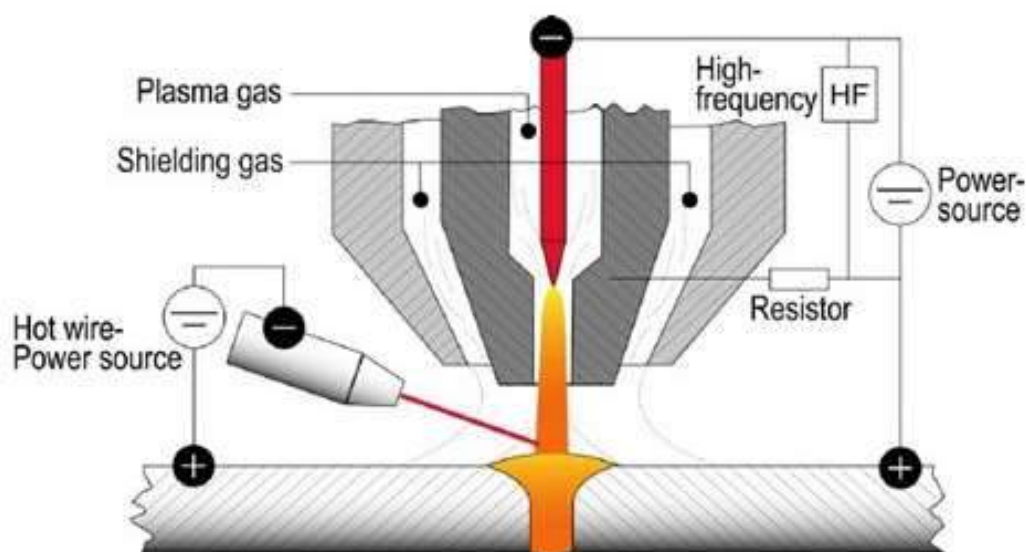


Рисунок 3.5 Схема принципу роботи плазмотрону.

Це процес з високою питомою енергією, в якому форсований потік частинок проходить через простір між катодом і анодом, що стискає дугу, і призводить до підвищення стійкості й стабільності дуги. Завдяки використанню в основному інертної, плазмової дуги, високо локалізована іонізована плазма характеризується високою температурою та енергією, щільність енергії нижче, ніж у лазерних променів великої потужності, але вище, ніж в інших електродугових процесів. Зона термічного впливу плазми є вузько направленою і тонкою, що дозволяє краще контролювати геометрію зварного шва завдяки підвищеній гнучкості для незалежного контролю найбільш важливих параметрів процесу: струму і швидкості подачі дроту.

3.4 Технологія вирощування заготовки

По цій технології деталь виготовляють за наступним алгоритмом.

По-перше узгоджують документацію з цехом виробником щодо форм і розмірів заготовки деталі, а також виготовлення підкладки під деталь, в разі необхідності. Підкладка (рис 3.6) може бути використана багаторазово і її використання фактично не обмежується, єдиною перешкодою може стати деформація підкладки. Деформація може завдати труднощів при встановленні та позиціюванні на планшайбі але на кінцевий результат не вплине.

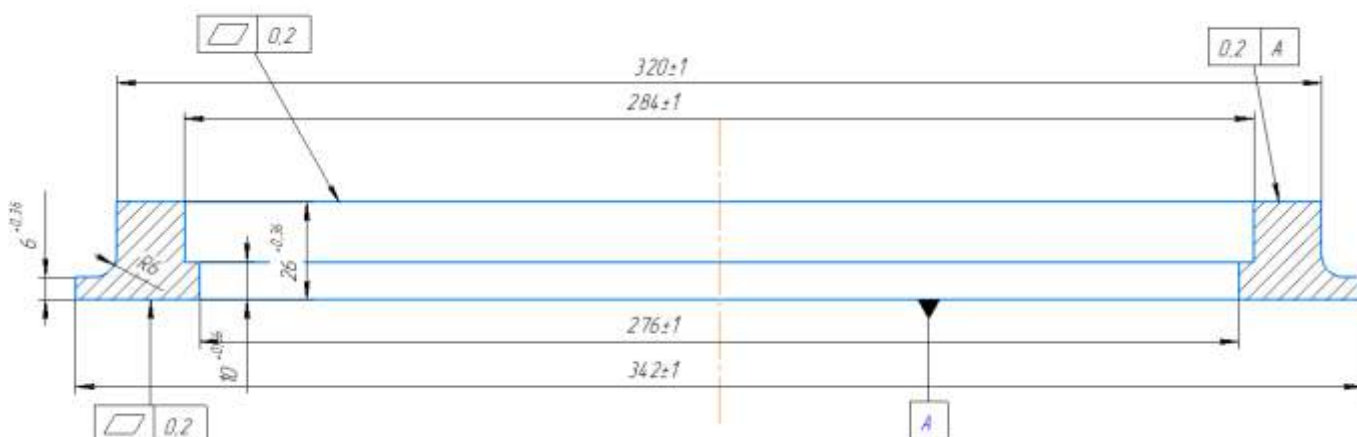


Рисунок 3.6 Креслення підкладки для вирощування

Підкладка виготовляється з низьковуглецевої, конструкційної сталі типу: Ст3, Ст5, 08Г2С і т.д. Підкладка повинна висоту від 16...25 мм, для того щоб мати більшу жорсткість, а також має запас по діаметрам від креслення заготовки: менший внутрішній діаметр на 2 мм і більший зовнішній, також на 2мм. На підкладці, особливо для деталей маючих більший діаметр ніж 250мм чи де припускають наклони деталі повинні бути виступи для притискачів.

Фіксування підкладки обов'язкове, бо вона буде деформуватися у процесі наплавлення металу. Найбільшу жорсткість можна отримати прижав спеціальними притискачами підкладку до планшайби з шести напрямків по внутрішньому і зовнішньому діаметру.

По-друге підкладку необхідно відцентрувати за допомогою мікрометра годинникового типу, відхилення від центру повинно бити не більше 0.5 мм. Скоригувати програму універсальну програму на пульті управління (рис 3.7) для розмірів заготовки.



Рисунок 3.7 Пульт управління роботом

Перед початком процесу необхідно протерти поверхню ацетоном або спиртом. По-третє шагом буде виконується наплавлення на підкладку по узгодженому кресленню до необхідних розмірів (рис 3.8). Параметрами режиму наплавлення вказані в таблиці 3.1. Після кожних 3-4 проходів необхідно дати 5-6 хвилин на охолодження.



Рисунок 3.8 Креслення заготовки

Таблиця 3.1 – Параметри режиму наплавлення

Параметр	Значення
1	2
Діаметр присадкового дроту, мм	1
Діаметр вольфрамового електроду, мм	3,2
Діаметр плазмоутворюючого сопла, мм	2,6
Сила струму, А	85...95
Напруга на дузі, В	18...20
Частота імпульсу, Гц	0,8
Тривалість максимального струму імпульсу, %	70
Мінімальний струм імпульсу від основного, %	30
Швидкість подачі дроту, м / хв	0,85

Продовження таблиці 3.1

1	2
Витрата захисного газу, л / хв	18
Витрата плазмоутворюючого газу, л / хв	1,1
Швидкість руху роботи, мм / сек	1,5

Кінець таблиці 3.1

Слід зауважити, що процес вирощування самій заготовки проходить з виконанням чотирьох додаткових токарних операцій (рис. 3.9).

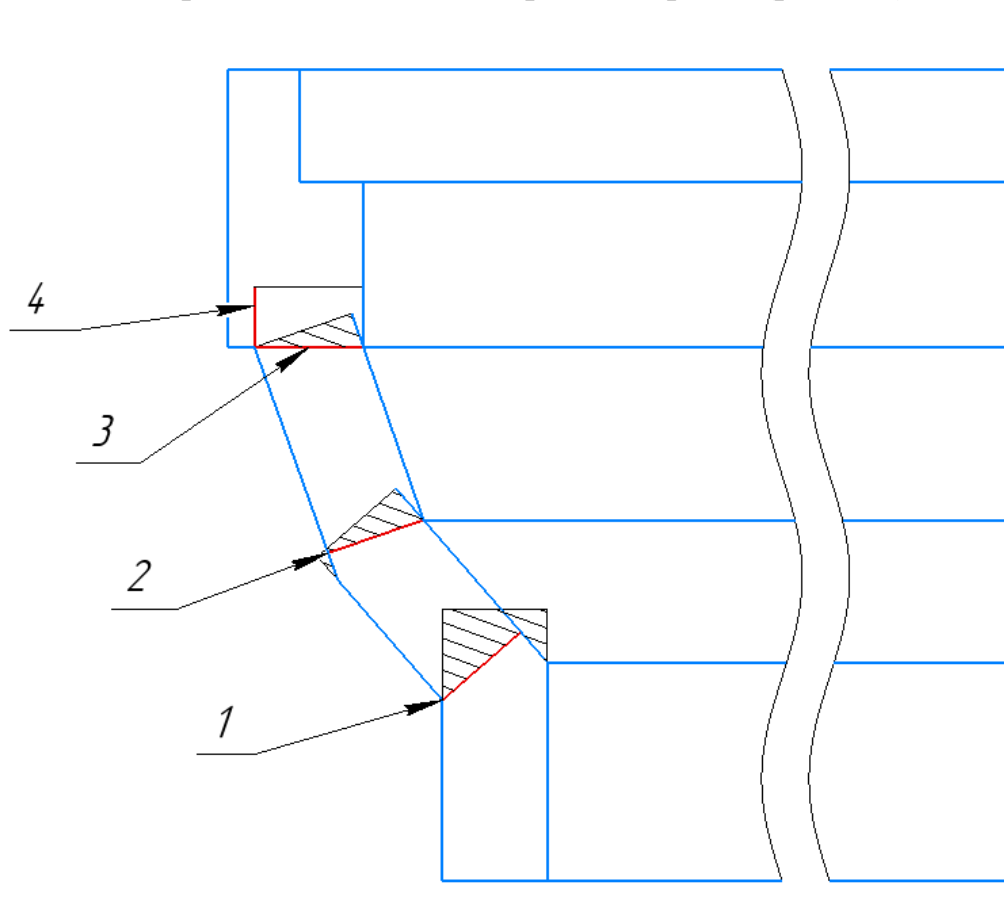


Рисунок 3.9 Місця супутніх токарних операцій

Такі токарні операції необхідні для створення необхідного кута для подальшого вирощування а також, що дуже важливо, такий підхід дозволяє уникнути утворення несплавлень.

Несплавлення можуть виникати при наплавленні на бокову поверхню вже наплавлених шарів. Подібна поверхня (рис 3.10) має хвилястий вигляд та покрита товстою оксидною плівкою з перепадом висоти до 1.2мм.



Рисунок 3.10 Бокова поверхня наплавленої заготовки

Поєднання таких факторів створює загрозу утворення несплавлень які в свою чергу слугують концентратором напружень від чого утворюються холодні тріщини в середині заготовки.

4 ОБЛАДНАННЯ

На дослідно експериментальній ділянці адитивного вирощування в наступний час активно використовується робот фірми FANUC моделі» M-710iC/50»(рис.4.1) під управлінням контролера «FANUC R-30iA» (рис.4.2).

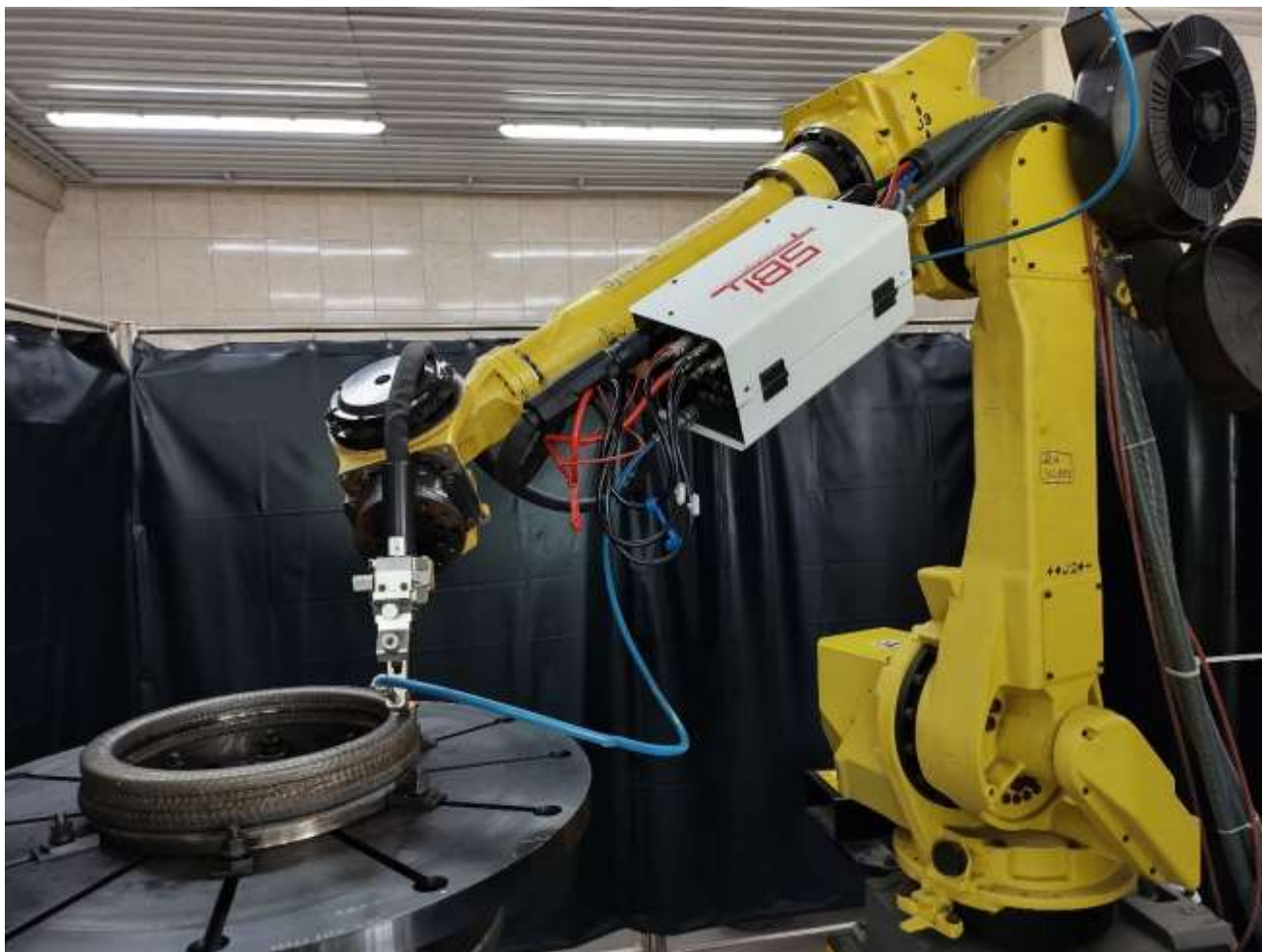


Рисунок 4.1 Робот FANUC M-710iC/50.

Ця інноваційна серія легких роботів відрізняється тонким зап'ястям, жорсткою рукою та невеликим відбитком. Високошвидкісні швидкості в поєднанні з величезною 6-осьовою універсальністю роблять його ідеальним вибором для роботи з незручними корисними навантаженнями, шліфування, полірування, зняття задирок, різання водою та промивання, та зварювання.



Рисунок 4.2 Контролер FANUC R-30iA

Системний контролер FANUC R-30iA додає можливості процесу та функції відкритої архітектури, які забезпечують подальший інтелект, а також спрощують системну інтеграцію. Крім того, включена концепція "додаткових опцій", що додає гнучкості, коли потрібні конкретні конфігурації програми. Це також зменшує час прискорення та уповільнення для робота, що призводить до зменшення часу циклу.

Нові версії цього контролера включають вдосконалений контроль вібрацій та інтегровану 2D систему зору, яка може модернізуватися до системи 3D зору. Контроль вібрації допомагає значно зменшити час прискорення та уповільнення робота, що призводить до зменшення часу циклу. Контролер FANUC R 30iA також пропонує просте завантаження та завантаження програм-роботів на сервер, а також пропонує розширений контроль осей до 40 осей.

Ефективна система охолодження FANUC R-30iA має окремий повітряний контур та охолодження зовнішнім повітрям для максимальної ефективності. Потік повітря ззаду на задній заощаджує простір підлоги та дозволяє розміщувати багато контролерів поряд. Інші характеристики надійності включають усунення пилу, що потрапляє в контролер через систему охолодження та вентилятори на дверцятах і стійці контролера, щоб забезпечити оптимальне охолодження всіх компонентів.

R-30iA працює з операційною системою FANUC, що допомагає збільшити зручність використання, підтримувати високу безпеку даних у разі втрати енергії та швидко запускати базове програмне забезпечення. Існує широкий спектр можливостей програмування, таких як TPE (Teach pendant editor - це стандартний спосіб програмування), розширені опції офлайн-програмування, такі як ROBOGUIDE, інтегрований PMC (додатково) та KAREL (додатково)

З роботом у парі іде маніпулятор з планшайбою «FANUC a iS 8/4000» (рис 4.3) який виступає додатковим маніпулятором з двома осями обертання. Цей маніпулятор може обертати тіла масою до 500кг зі швидкістю 20мм/с, що зазначено у мануалі до маніпулятора.



Рисунок 4.3 Маніпулятор FANUC a iS 8/4000

Обладнанням для живлення для плазмотрону «ТР200»(рис 4.4) виступає багатофункціональне джерело живлення австрійської фірми SBI «PMI 350 AC/DC»(рис. 4.6) у парі з падаючим SBI механізмом (рис 4.5).



Рисунок 4.4 – Плазмовий пальник ТР 200-R



Рисунок 4.5 – Подавальний механізм WF-1 Wirefeeder



Рисунок 4.6 Джерело живлення SBI PMI 350 AC/DC

Джерело живлення має великий спектр можливостей та забезпечує досить великий простір налаштувань для кожного виду зварювання (MMA, TIG ware, Plasma ware, Plasma powder) кроткі характеристики наведені в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 Характеристики джерела живлення SBI PMI 350 AC/DC

Напруга в мережі	Номінальне значення
Зварювальний струм при ПВ 60% (40°C /10 хв)	350А
Зварювальний струм при ПВ 100% (40°C /10 хв)	290А
Діапазон керування пульсації току	3...350А
Діапазон керування пілотним струмом	0,5...50А
Пило-влаго захист	IP21
Електронний контроль плазмового газу	0,5...5 л/хв
Ручний контроль газу	1,0...25 л/хв
Контроль подачі транспортуючого газу (для порошку)	0,5...25 л/хв
Рівень шуму	<70 Дб
Вага	105 кг

5 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗРАЗКІВ З ВЖ-98 ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ АДИТИВНОГО ВИРОЩУВАННЯ

Для дослідження якості та властивостей матеріалу в бюро досліджень створено зразок розміром 150x120x16 мм із сплаву ЭИ868 (ХН60ВТ), отриманий методом мікроплазмової наплавки на роботизованій установці з режимами вирощування наведеними в таблиці 5.1. В склад роботизованої установки входить робот FANUC M-710iC (Японія) та джерело живлення SBI PMI-350 AC/DC TL (Австрія).

Таблиця 5.1 – Режими вирощування зразків із сплаву ВЖ 98

Параметри режиму	Значення
Діаметр присадного дроту, мм	1
Діаметр вольфрамового електроду, мм	3,2
Сила струму, А	85
Швидкість зварювання, мм / с	1.5
Швидкість подачі дроту, м / хв.	0,85
Діаметр плазмо утворюючого сопла, мм	2,6
Витрата плазмо утворюючого газу, л / хв.	1.1
Витрата захисного газу, л / хв.	16
Крок наплавлення, мм	2,5
Тривалість максимального струму імпульсу, %	70
Мінімальний струм імпульсу від основного, %	30

Дослідження якості матеріалу зразка, отриманого методом мікроплазмового наплавлення дротом, проводилося мікроструктурним аналізом шліфів до і після термообробки (ТО) виконаної по серійному режимі, що застосовується для сплаву ХН60ВТ (ЭИ868) на підприємстві: загартування з $T = 1190 \pm 10^\circ\text{C}$ витримка 1 година, охолодження повітря.

Зовнішній вид вирощеного зразка, що надійшов на дослідження, представлений на рис. 5.1.

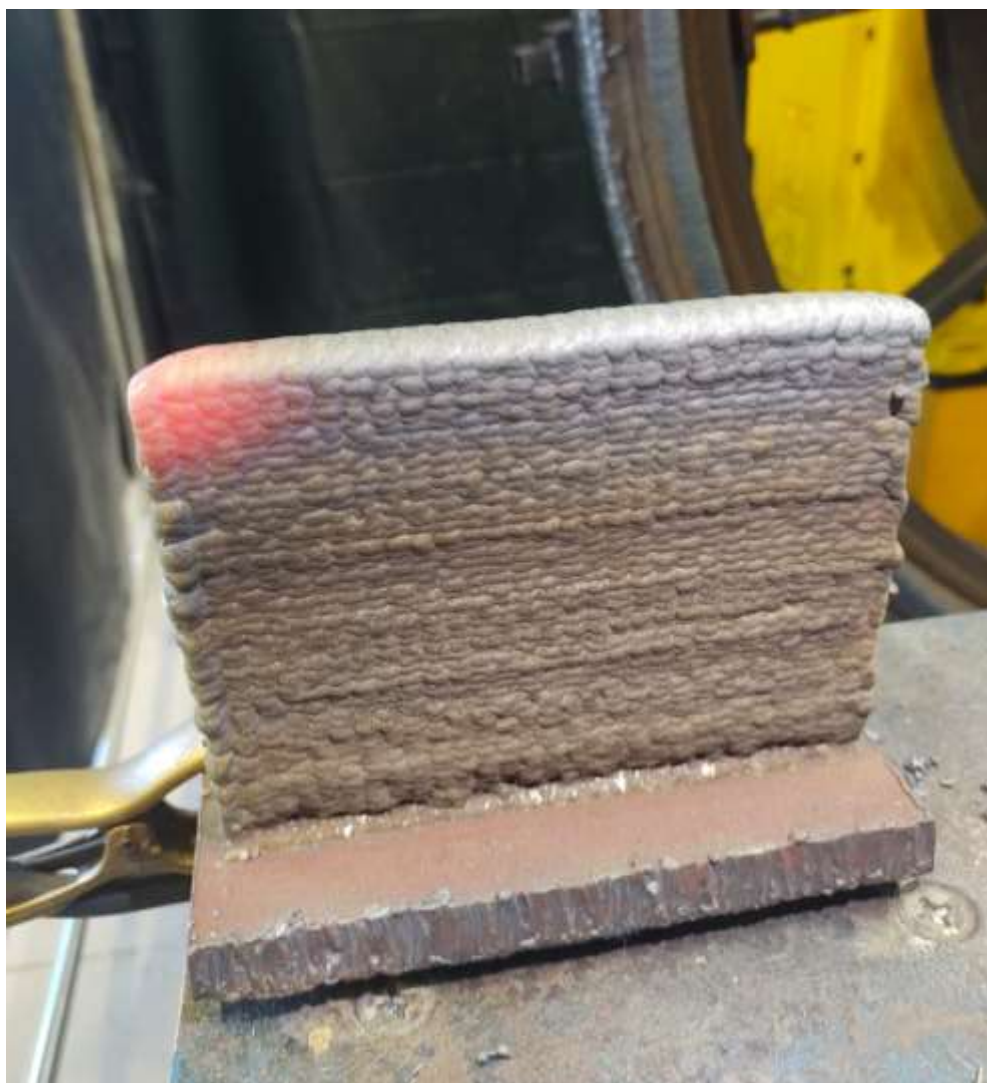
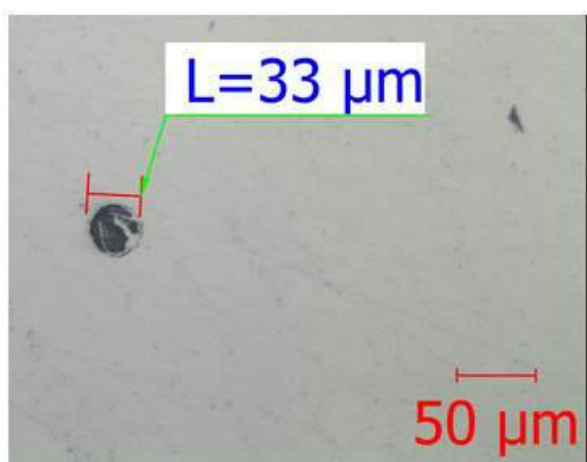


Рис. 5.1 Вигляд зразка під час вирощування

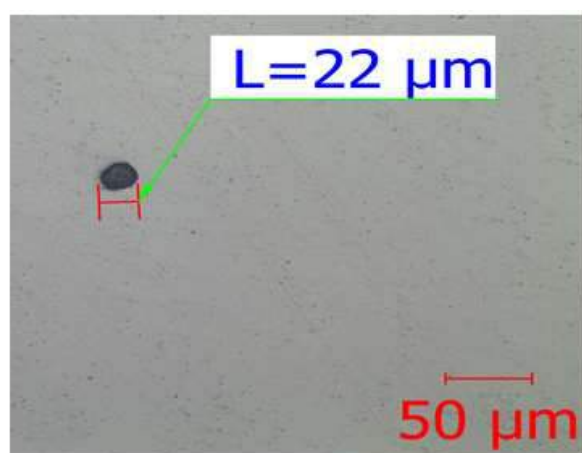
5.1 Мікроструктурний аналіз металу зразка до термообробки

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

Металографічне дослідження нетравлених шліфів показало, що метал зразків щільний, у полі зору виявлено наявність одиничних мікропор (до 33 мкм), раковин та окисних включень (рис. 5.2). Дефектів металургійного характеру у вигляді несплавлень і тріщин не виявлено.



а – Поздовжній шліф

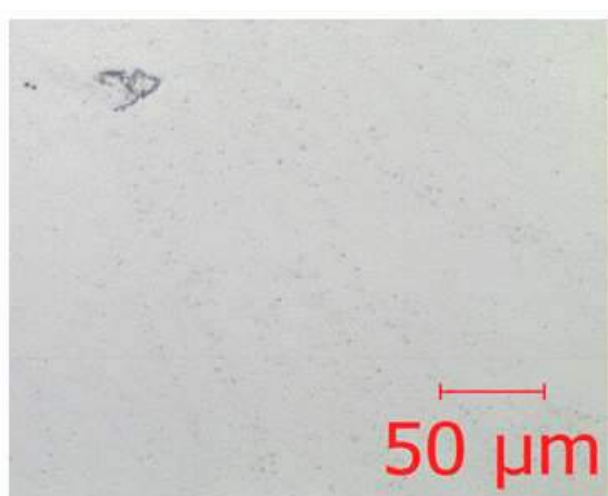


б Поздовжній шліф

Рисунок 2 Мікропори, збільшення x200



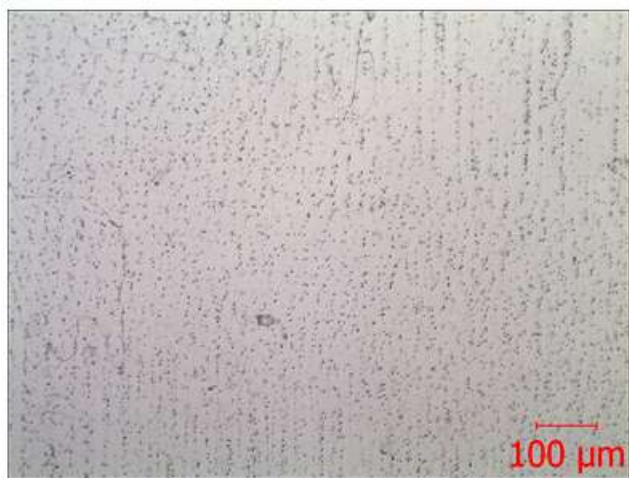
а – Поперечний шліф



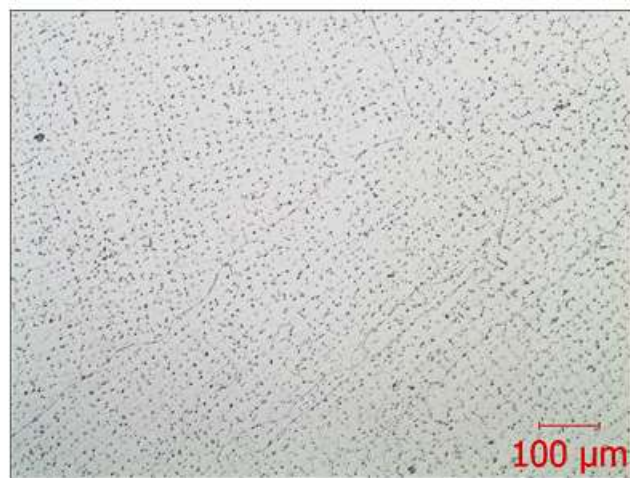
б – Поперечний шліф

Рисунок 5.2 Оксидні включення збільшення x200

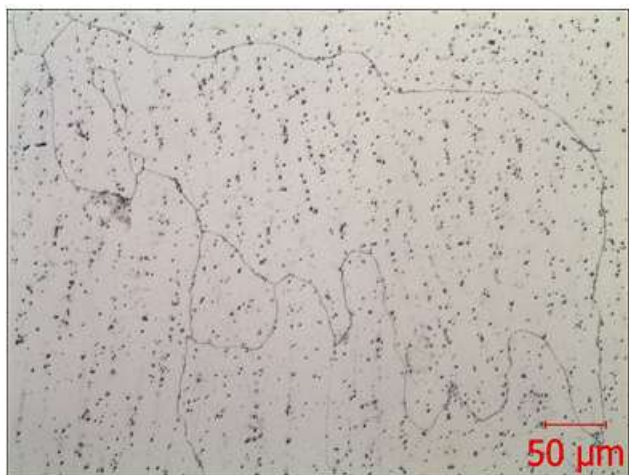
Дослідження травлених шліфів методом електролітичного травлення (H_3PO_4 – 800 мл + CrO_3 – 100 мл), показало, що мікроструктура вихідних зразків (до термообробки) дендритної будови з витягнутими зернами в напрямку відведення тепла, являє собою γ -твердий розчин з наявністю карбідів, карбонітридів і нітридів, розташованих упорядковано тепла в процесі вирощування (поперек шарів), перегріву не виявлено (рис. 5.3). У мікроструктурі лінії сплавлення не проглядаються, структура є однорідною із взаємним проростанням зерен між шарами.



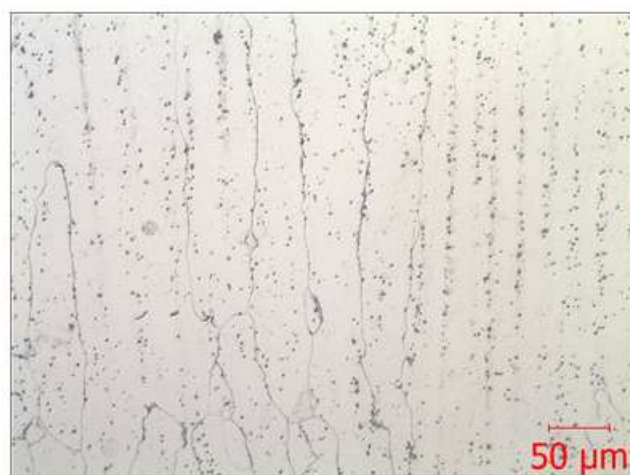
а – Поздовжній шліф x100



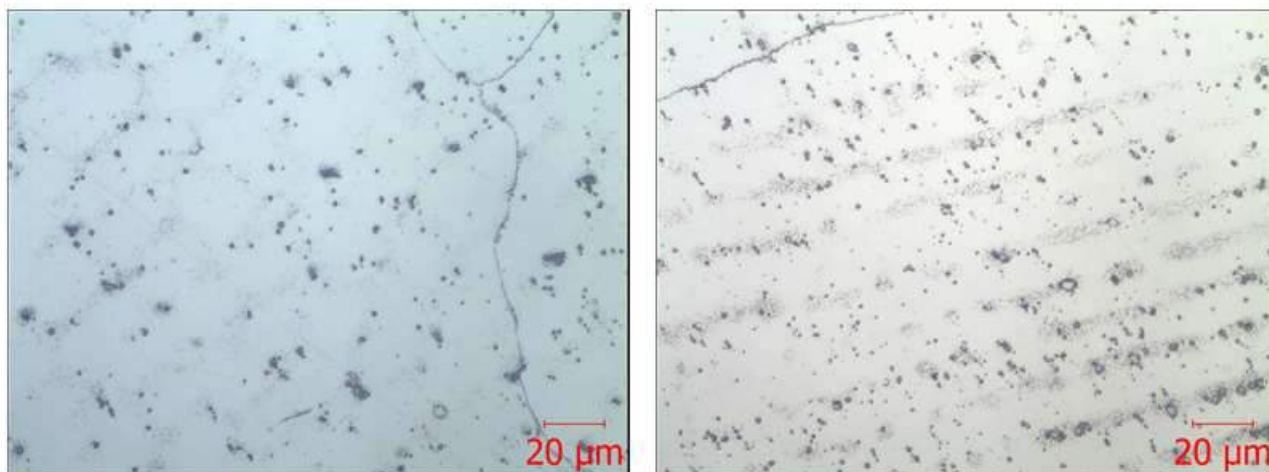
б – Поперечний шліф x100



в – Поздовжній шліф x200



г – Поперечний шліф x200



г – Поздовжній шліф x500

д – Поперечний шліф x500

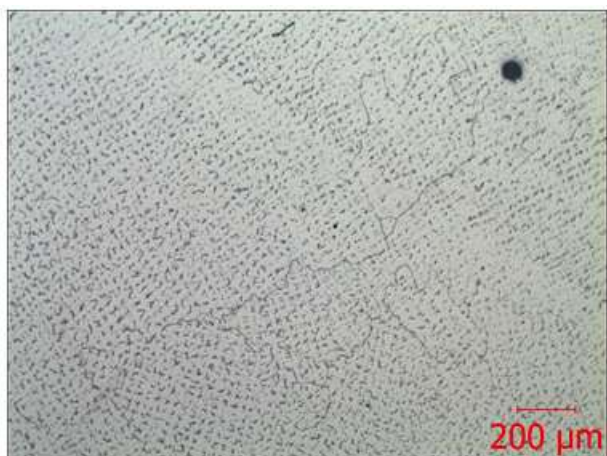
Рисунок 5.3 – Структура зразків до термообробки

У мікроструктурі матеріалу зразків є скупчення карбідів по межах зерен.

5.2 Мікроструктурний аналіз металу зразка після термообробки

Дослідження травлених шліфів (електролітичне травлення), виготовлених у поздовжньому та поперечному напрямку, показало, що мікро-структура зразків після термообробки так само залишилася дендритної будови з витягнутими зернами в напрямку відведення тепла (рис. 5.4), являє собою γ - твердий розчин з наявністю карбідів, карбонітридів та нітридів. Присутня та ж спрямованість їх розташування у напрямку відведення тепла в процесі вирощування (поперек шарів), як і до термообробки. У мікроструктурі лінії сплавлення не проглядаються, структура є однорідною із взаємним проростанням зерен між шарами. Мікроструктура відповідає нормально термообробленому стану сплаву ЭИ868 (ХН60ВТ), перегріву не виявлено.

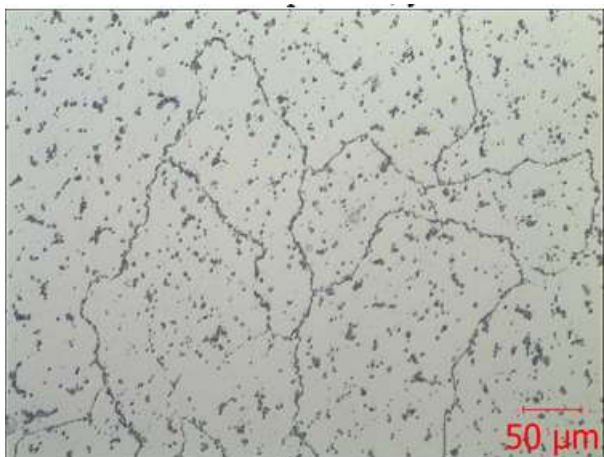
Так само, як і до термообробки на зразках присутні скупчення карбідів по межах зерен, що характерно для нікелевих сплавів.



а – Поздовжній шліф x100



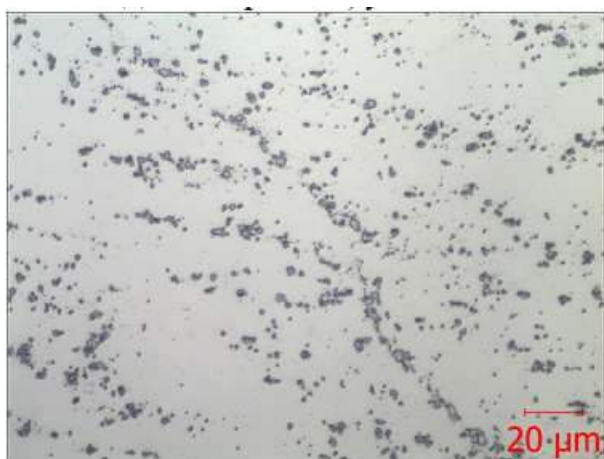
б – Поперечний шліф x100



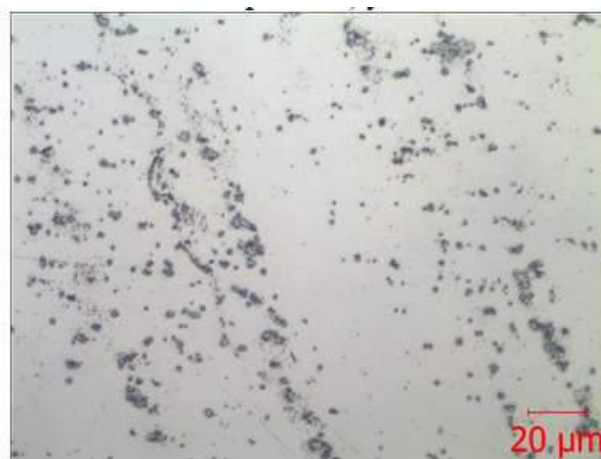
в – Поздовжній шліф x200



г – Поперечний шліф x200



з – Поздовжній шліф x500

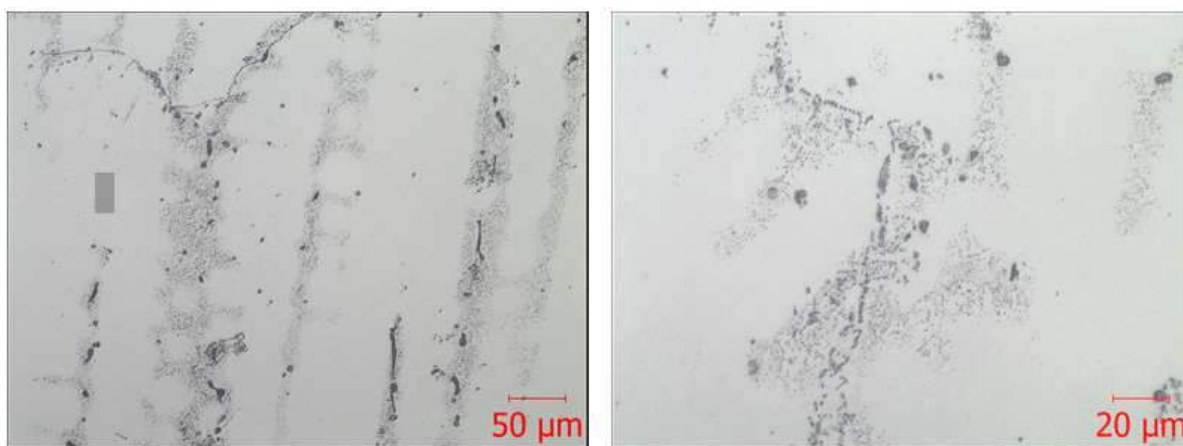


д – Поперечний шліф x500

Рисунок 5.4 – Структура зразків після термообробки

Порівняльним аналізом мікроструктури вирощених зразків до і після термообробки, суттєвих відмінностей у структурі матеріалу не виявлено. Це з тим, що сплав ЭИ868 (ХН60ВТ) є гомогенним і за термічної обробці у ньому виділяються зміцнюючі фази.

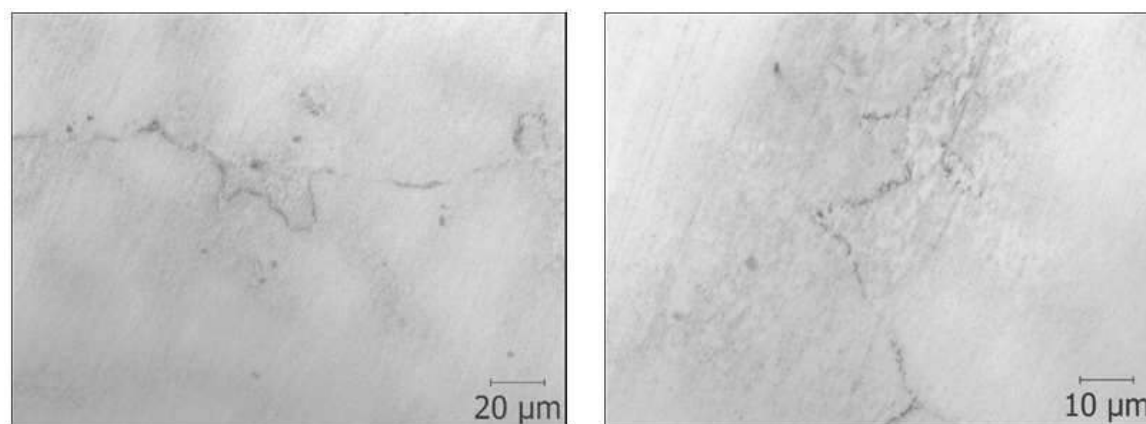
При порівняльному аналізі мікроструктури вирощених зразків з мікроструктурою литого матеріалу встановлено, що структура вирощених зразків, отриманих методом МПН відрізняється від литої, збільшеною кількістю карбідів, нітридів і карбонітридів (рис. 5.5), а також більшими скупченнями карбідів по межах зерен (рис 5.6).



а – Поздовжній литий, x200

б – Поперечний литий x500

Рисунок 5.5 – Мікроструктура литого металу



а – Поздовжній литий, x200

б – Поперечний литий x500

Рисунок 5.6 Скупчення карбідів за межами зерен у литій структурі

Для встановлення причини утворення великої кількості нітридів та карбонітридів у металі зразків, вирощених методом МНН, були зроблені мікрошліфи проволочки. При цьому було виявлено наявність нітридів та карбонітридів у металі проволочки. Ймовірно, поява нітридів і карбонітридів у вирощених зразках пояснюється їх переходом з проволочки в процесі вирощування.

5.3 Перевірка механічних властивостей

Механічні властивості сплаву ВЖ 98 (ЭИ868) отриманого методом мікроплазмового наплавлення дротом, визначали на стандартних циліндричних зразках за «ISO 6892-84 Метали. Методи випробувань на розтягнення», «ISO 783:1989 Метали. Методи випробувань на розтяг при підвищених температурах», «ДСТУ ISO 204:2019 Метали. Методи випробування на тривалу міцність». Зразки вирізали в поздовжньому і поперечному напрямі щодо шарів вирощування (рис. 5.7) після термічної обробки за вказаним вище режимом.

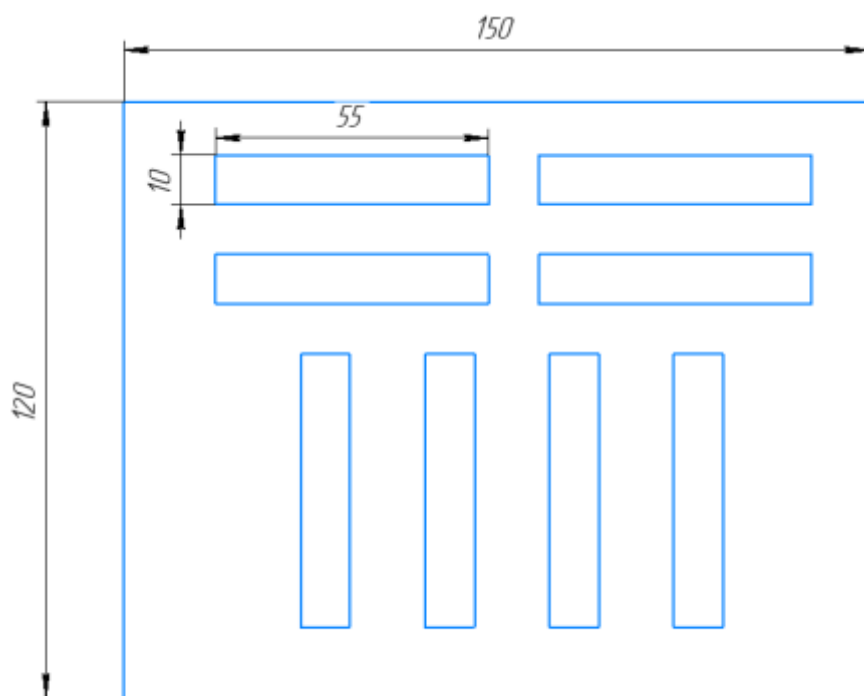


Рисунок 5.7 – Схема вирізки зразків для механічних випробувань

На виготовлених зразках визначалися механічні властивості (σ_b , $\sigma_{0,2}$, δ , ψ) при кімнатній температурі. Результати механічних випробувань при кімнатній температурі оброблені та представлені в таблиці 5.2. Для порівняння в таблиці 5.2 наведено норми ТУ, ДСТУу та режими термообробки серійного напівфабрикату, що виготовляється у вигляді листів, кілець та лиття.

Таблиця 5.2 – Механічні властивості вирощених зразків за кімнатної температури

Вид напів- фабрикату (ТУ)	Режими ТО	σ_b , кгс/мм ²	$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	δ , %	ψ , %
1	2	3	4	5	6
Вирощений плазмовим наплавленням	Гартування з 1200°C	Поперечний напрямок			
		62,6	32,0	52,0	39,2
		62,6	32,0	52,0	50,9
		60,1	33,1	46,0	45,2
		63,9	33,7	55,2	42,4
		62,3	32,7	51,3	44,4
		Поздовжній напрямок			
		67,4	34,5	48,0	33,2
		62,1	32,8	52,0	38,0
		64,4	30,4	64,0	59,2
		69,2	32,8	46,0	36,6
		61,6	31,8	52,0	45,7
		64,9	32,5	52,4	42,5

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6
Норми ТУ 14-1-1747-76 (лист холодного прокату)	Гартування з $T = 1150 \dots 1200^\circ \text{C}$, охолодження у воді або на повітрі.	≤ 105	-	≥ 40	-
Норми ТУ 1-809-45-2011 (Литьє)	Гартування з $T = 1190 \pm 10^\circ \text{C}$, охолодженням на повітрі.	≥ 50	-	≥ 35	-
Норми ТУ 14-1-4296-87 (Лист гарячого прокату)	Гартування з $T = 1150 \dots 1200^\circ \text{C}$, охолодження у воді.	≤ 100	-	≥ 40	-
Норми ОСТ 1 90396-91 (Кільце цільнокатане)	Гартування з $T = 1140 \pm 20^\circ \text{C}$ охолодження на повітрі.	≥ 71	-	≥ 30	-

Примітка: напівжирний шрифт таблиці містить середні значення.

Для порівняння в таблиці 5.3 наведені норми ТУ та режими термообробки серійного напівфабрикату, що виготовляється у вигляді листів і поковок зі сплаву ЭИ868 (ХН60ВТ).

Таблиця 5.3 – Механічні властивості вирощених зразків при $T=900^{\circ}\text{C}$

ТУ (Вид напівфабрикату)	Режими ТО	σ_b , кгс/мм ²	δ , %	ψ , %
Вирощений Зразок мікроплазмовою наплавкою	Гартування з $T=1190\pm 10^{\circ}\text{C}$, охолодженням на повітрі.	Поперечний напрямок		
		33,9	34,4	45,2
		38,0	31,2	42,2
		41,3	23,5	32,8
		38,0	30,0	40,0
		Поздовжній напрямок		
		37,0	41,2	59,0
		38,2	41,2	70,8
		35,7	38,8	53,7
		37,0	40,0	61,0
Норми ТУ 14-1-1747-76 (Лист холоднокатаний)	Гартування з $T=1150-1200^{\circ}\text{C}$, з охолодженням на повітрі чи у воді.	≥ 18	≥ 30	-
Норми ТУ 14-1-4296-87 (Лист горячекатаний)	Гартування з $T=1150-1200^{\circ}\text{C}$, з охолодженням на повітрі чи у воді.	≥ 20	≥ 40	-
Норми ТУ 27.1-00190414-038:2007 (Поковка)	Гартування з $T=1150-1200^{\circ}\text{C}$, з охолодженням на повітрі чи у воді.	≥ 22	≥ 45	≥ 50

Примітка: напівжирний шрифт таблиці містить середні значення.

З таблиці 5.3 видно, що механічні властивості металу отриманого методом МПН і термообробленого за режимом загартування $T=1200^{\circ}\text{C}$ – повністю відповідають нормам ТУ 14-1-1747-76 (лист холоднокатаний):

– відповідають за міцністю (σ_b , кгс/мм²) нормами ТУ 14-1-4296-87 (лист гарячекатаний) та ТУ 27.1-00190414-038:2007 (Поковка);

– воступаються нормам за пластичністю ($\delta_{0,2}$, %) на 25...33% (подовжній напрям), та на 11% (поперечний напрям) нормам ТУ 27.1-00190414-038:2007 (Поковка);

– поступаються (подовжній напрям) нормам за пластичністю (ψ , %) на 20%, нормами ТУ 27.1-00190414-038:2007 (Поковка).

Міцні властивості (σ_b) подовжніх і поперечних зразків знаходяться приблизно на одному рівні. Спостерігається відмінність на 25...35% пластичних властивостей ($\delta_{0,2}$, ψ) зразків виготовлених у подовжньому та поперечному напрямку.

За рекомендацією ДП «Івченко-Прогрес» було проведено випробування на тривалу міцність за температури 800°C . Навантаження і тривалість випробувань бралися з довідника ВІАМ [3]. Результати випробувань на тривалу міцність оброблені та представлені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Результати випробувань на тривалу міцність вирощених зразків

Зразок	Температура випробувань, $^{\circ}\text{C}$	Навантаження кгс/мм ²	Витримав часів	Примітка
1	2	3	4	5
Подовжній	800	11	156 ³⁰	Зруйнувався
Подовжній	800	11	142 ⁰⁰	Зруйнувався
Подовжній	800	11	119 ³⁰	Зруйнувався

Продовження таблиці 5.4

1	2	3	4	5
Поперечний	800	11	161 ³⁰	Зруйнувався
Поперечний	800	11	150 ³⁰	Зруйнувався
Поперечний	800	11	103 ³⁰	Зруйнувався
Згідно даним ВІАМ	800	11	100	-

Кінець таблиці 5.4

Тривала міцність вирощених зразків у поздовжньому та поперечному напрямку відповідає вимогам довідника ВІАМ [3].

Візуальний огляд зразків після випробування при кімнатній температурі показав, що поверхня всіх зразків у процесі пластичної деформації змінилася, стала хвилястою з різним ступенем звуження. Зразки зруйновані з утворенням шийки, що свідчить про пластичну руйнацію. Зовнішній вид зразків після механічних випробувань представлений рис. 5.8.



а - поздовжні



б – поперечні

Рисунок 5.8 – Зовнішній вид зразків після випробувань за кімнатної температури

Під час огляду зламів розривних зразків за допомогою бінокулярного мікроскопа дефектів металургійного характеру не виявлено (рис. 5.9), злами мають ямковий характер.

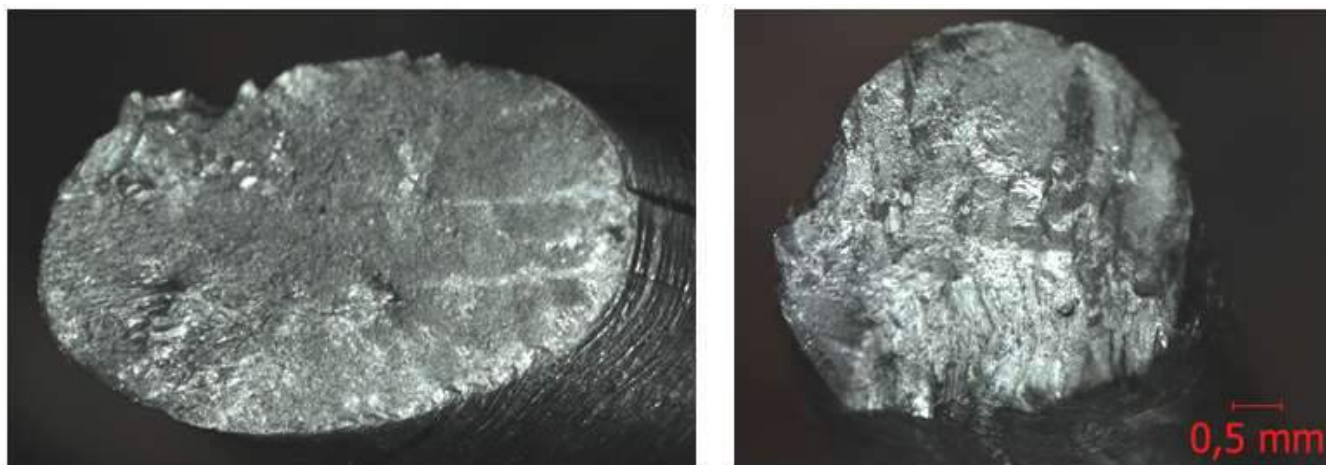


Рисунок 5.9 – Зовнішній вид зламів розривних зразків, x10

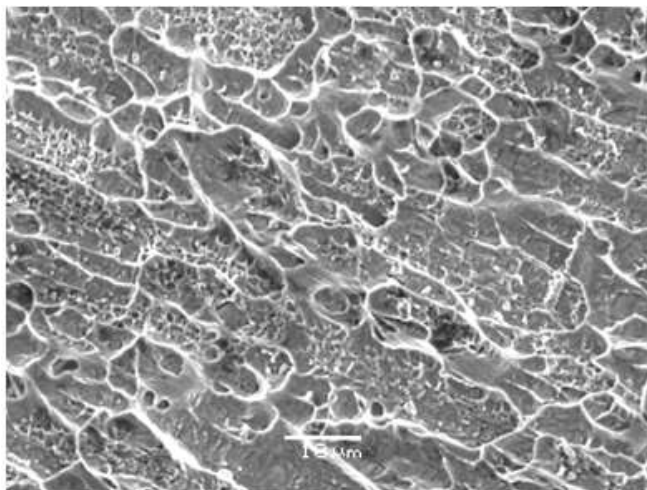
На фрактограмах зламів розривних зразків, отриманих на електронному мікроскопі видно, пориста структура поверхні зламів (рис. 5.10), характерна для пластичних матеріалів.



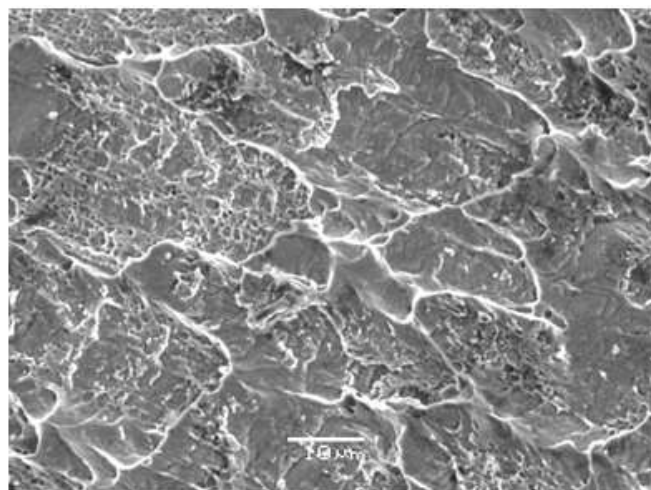
а – поперечний, x20

б – поздовжній, x20

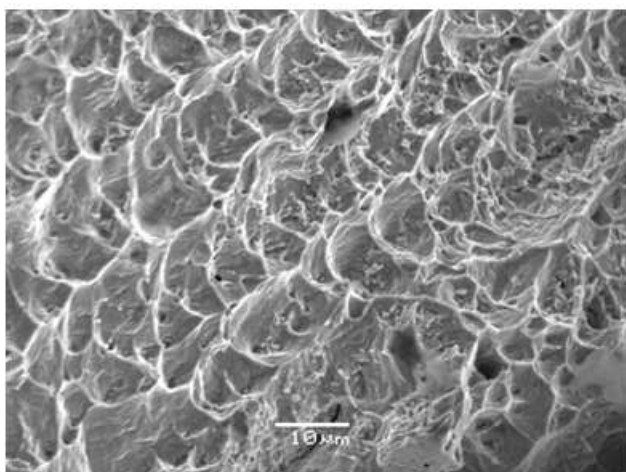
Рисунок 5.10 – Зовнішній вид зламів розривних зразків



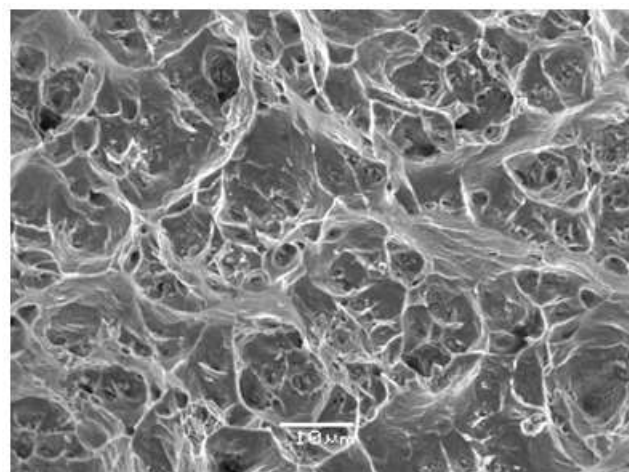
в – поперечний, x1500



г – поперечний, x1500



в – поздовжній, x1500



г – поздовжній, x1500

Рисунок 5.10 – Зовнішній вид зламів розривних зразків

6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

Ідея полягає в зменшенні собівартості виготовлення зовнішнього кільця камери згорання апарату високого тиску двигуна AI450, виготовленого із жароміцного нікелевого сплаву ВЖ98 (ЭИ868), 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 6.1.

Таблиця 6.1 – Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів
Зменшення собівартості деталі шляхом зниження матеріалоемності заготовки	1. Вирішення проблеми високої метеріалоемності виробу	Зменшення витрат на ремонт двигуна
	2. Зниження трудомісткості процесу виробництва	Зменшення долі браку

Характеристику потенційного ринку надано в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Попередня характеристика потенційного ринку

№	Показники стану ринку	Характеристика
1	2	3
1.	Головні конкуренти	Заводи виробники авіадвигунів та комплектуючих для них «Івченко Прогрес»

Продовження таблиці 6.2

1	2	3
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. Відповідність до внутрішнього стандарту ТУМ-500М

Кінець таблиці 6.2

Характеристика потенційних клієнтів сформована в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – 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 двигуна	Авіакомпанії; ремонтні заводи; заводи, що збирають двигун; оборона промисловість	Відсутні	Зменшення собівартості без втрати необхідної якості виробів
2.	Зменшення трудоемкості виробу			Відповідна якість продукції

Таблиця 6.4 – SWOT-аналіз

Сильні сторони	Слабкі сторони
- Зменшення матеріалоемності - Висока якість отриманих виробів - Низька частка браку - Незалежність від зовнішніх надавачів послуг - Сучасні технології виготовлення	- Досить висока вартість обладнання - Необхідність в навчанні персоналу
Можливості	Загрози
- Можливість налагодити обладнання на випуск іншої продукції підприємства - Можливість зменшення собівартості ремонту та зборки двигуна	- 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 6.5.

Таблиця 6.5 – 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 входу у сегмент
1	Підприємства, які спеціалізуютьс я на ремонті та збиранні авіадвигунів	Високий попит через дефіцит литих заготовок	Великий попит на готову продукцію	Низька конкуренція	Важкий вхід потрібні великі інвестиції
Цільові групи: АТ «Мотор Січ», Оборонна промисловість, зарубіжні авіакомпанії					

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:

- 1) ідентифікація – окреслення актуальних груп стейкхолдерів;
- 2) аналіз – дослідження впливу та інтересів стейкхолдерів;
- 3) візуалізація – візуальна ілюстрація взаємодії зі стейкхолдерами;
- 4) 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.

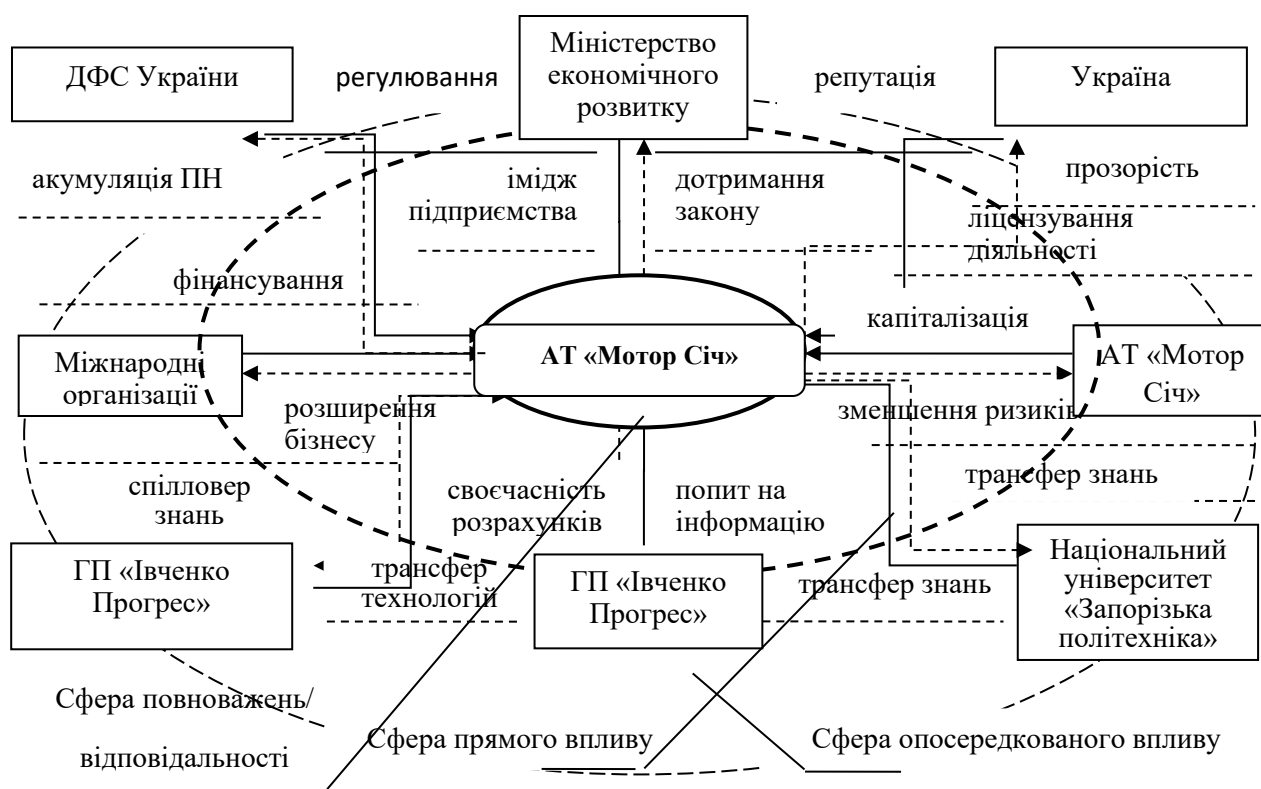


Рисунок 6.1 – Карта стейкхолдерів

6.1 Розрахунок собівартості та економічного ефекту

Необхідно визначити витрати на оплату праці з урахуванням балансу робочого часу одного працівника та визначити суму ЄСВ (табл 6.6, 6.7).

Таблиця 6.6 - Склад, чисельність та фонд заробітної плати виробничих працівників

Категорії працівників	Наявна чисельність, осіб		Тарифна ставка за розрядом 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							
Виробничі працівники, в тому числі:									
1.Основні працівники:									
Оператор робота	1	2	75	1 866	139 950	20	27 990	167 940	36 947
Токар	1	1	86	1 866	160 476	20	32 095	192 571	42 366
Разом виробничих працівників	3	4	-	-	-	-	60 085	360 511	79 313

Таблиця 6.7 - Склад, чисельність та фонд заробітної плати адмінперсоналу

Посада	Кіль- кість осіб	Посадов ий оклад, грн	Преміальн ий відсоток до окладу, %	Сума премії грн	Місячна заробітн а плата, грн	Річний фонд оплати праці, грн	ЄСВ, грн
Майстер	1	12 000	20	2 400	14 400	172 800	38 016
Технолог	1	10 000	20	2 000	12 000	144 000	31 680
Разом управлінсько го персоналу	2	22000	-	4400	26400	316 800	69 696

Визначити матеріальні витрати (табл. 6.8) та вартість спожитих послуг (табл. 6.9).

Таблиця 6.8 – Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати	Норматив у розрахунку на один. продук. (послуг)	Виробнича програма	Обсяг сировини	Ціна, грн	Сума (з урахуванням транспортних витрат - 5%), грн
1	2	3	4	5	6
Дріт ВЖ98 (ЭИ868) Ø 1 мм	28	35	980	3 280	3 375 120

Продовження таблиці 6.8

1	2	3	4	5	6
Захисний газ аргон*	4	35	140	300	44 100
Вольфрамовий електрод діаметр 3,2 мм	0,5	35	18	150	2 756
Різці відрізний	0,05	35	2	700	1 470
Разом	-	-	-	-	3 423 446

*Обсяг 1 балона 7м³

Кінець таблиці 6.8

Таблиця 6.9 – Розрахунок вартості спожитих послуг

Вид послуг	Норматив у розрахунку на один. продук. (послуг)	Виробнича програма	Обсяг послуг	Тарифи	Сума грн
Електропостачання	-	-	160 000 кВт·год	3,7	592 000
Водопостачання	-	-	1 800 м ³	18,68	3 3624
Теплопостачання	-	-	37 000 м ³	7,42	27 4540
Разом	-	-	-	-	900 164

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 6.10 – Розрахунок амортизації

Група основних засобів	Нормативний строк експлуатації	Первісна вартість ОЗ на 01.01	Сума, грн
1.Виробничі будівлі	60	734 400	12 240
2. Споруди	50	36 720	734
Обладнання: Робот FANUC M-710iC Джерело живлення SBI PMI-350 AC/DC	15	3 795 000	253 000
4.Цінні інструменти, прилади, інвентар Маніпулятор FANUC a iS 8/4000	15	189 750	12 650
5.Транспортні засоби	10	113 850	11 385
Разом	-	4 869 720	290 009

Таблиця 6.11 – 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	97 812.7	3 423 446
Електропостачання	16 914.28	592 000
Водопостачання	960.68	33 624
Теплопостачання	7 844	274 540
Разом	25 718.97	900 164
Заробітна плата основних виробничих працівників: Оператор, Токар	3 410	119 350
ЄСВ	750.2	26 257
Амортизація	828.82	290 009
Витрати на утримання та експлуатацію основних засобів поточний ремонт	10 230	122 760
Загальновиробничі витрати	6 820	238 700
Виробнича собівартість	144 820.5	5 068 717.5
Адміністративні витрати	3 410	119 350
Повна собівартість	148 230.5	5 188 067.5

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 6.12 - 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	171 942.85	6 018 000
Електропостачання	27 680	968 800
Водопостачання	990	34 650
Теплопостачання	9 000	315 000
Разом	188 367	1 318 450
Заробітна плата основних виробничих працівників	15 400	539 000
ЄСВ	3 388	118 580
Амортизація	4 930	172 550
Витрати на утримання та експлуатацію основних засобів поточний ремонт	46 200	1 617 000
Загальновиробничі витрати	30 800	1 078 000
Виробнича собівартість	229 632.85	8 037 150
Адміністративні витрати	15 400	539 000
Повна собівартість	245 032.85	8 576 150

Економічний ефект Е за розрахунковий рік:

$$E = (CB_6 - CB_H) \cdot N = (148\,230.5 - 245\,032.85) \cdot 35 = 3\,388\,082.25 \text{ (грн)} \quad (6.1)$$

6.2 Висновки по розділу техніко-економічні розрахунки

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

Економічний ефект даної технології – 3 388 082.25 гривень за розрахунковий рік.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надано основні заходи з охорони праці при розробці технологічного процесу виготовлення камери зовнішнього згоряння способом мікроплазмового адитивного вирощування.

7.1 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.

7.2 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 короточасним 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.2.5-28:2018 «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 ПП 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 ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 «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 в робочій кабіні 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.

7.3 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 ДСТУ 2817-94 «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:

$$N_p = \frac{B}{(H-h_p) \cdot [L/h]} = \frac{12}{(7-0,8) \cdot 1,4} = 1,3 \approx 2 \text{ряда} \quad (7.1)$$

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

- Визначаємо відстань між рядами:

$$L_{max} = \frac{B}{N_p} = \frac{12}{2} = 6(\text{м}) \quad (7.2)$$

- Знаходимо висоту звисання світильника від стелі:

$$h_3 = H - h_p - h = 7 - 0,8 - 4,3 = 1,9 (\text{м}) \quad (7.3)$$

- Чисельне значення індексу приміщення:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} = \frac{18 \cdot 12}{4,3 \cdot (18+12)} = 1,7 \quad (7.4)$$

- 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:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \cdot S \cdot k_z \cdot z}{\eta} = \frac{300 \cdot 216 \cdot 1,6 \cdot 1,15}{0,56} = 212914 \text{ (лм)} \quad (7.5)$$

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:

$$N_{\text{св}} = \frac{AB}{L_{\text{max}}^2} = \frac{18 \cdot 12}{6^2} = 6 \text{ (шт)} \quad (7.6)$$

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

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N_{\text{л}}} = \frac{212914}{6} = 35486 \text{ (лм)} \quad (7.7)$$

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

$$N_{\text{л}} = N^* \cdot n \quad (7.8)$$

n – кількість ламп у світильнику.

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

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

$$m = \frac{\Phi_{\text{л}}}{\Phi_{\text{л}}} = \frac{35486}{36000} = 0,98 \quad (7.9)$$

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

$$N_{\text{св}} = N_{\text{св}} \cdot m = 6 \cdot 0,98 = 5,91 \approx 6 \text{ (шт)} \quad (7.10)$$

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

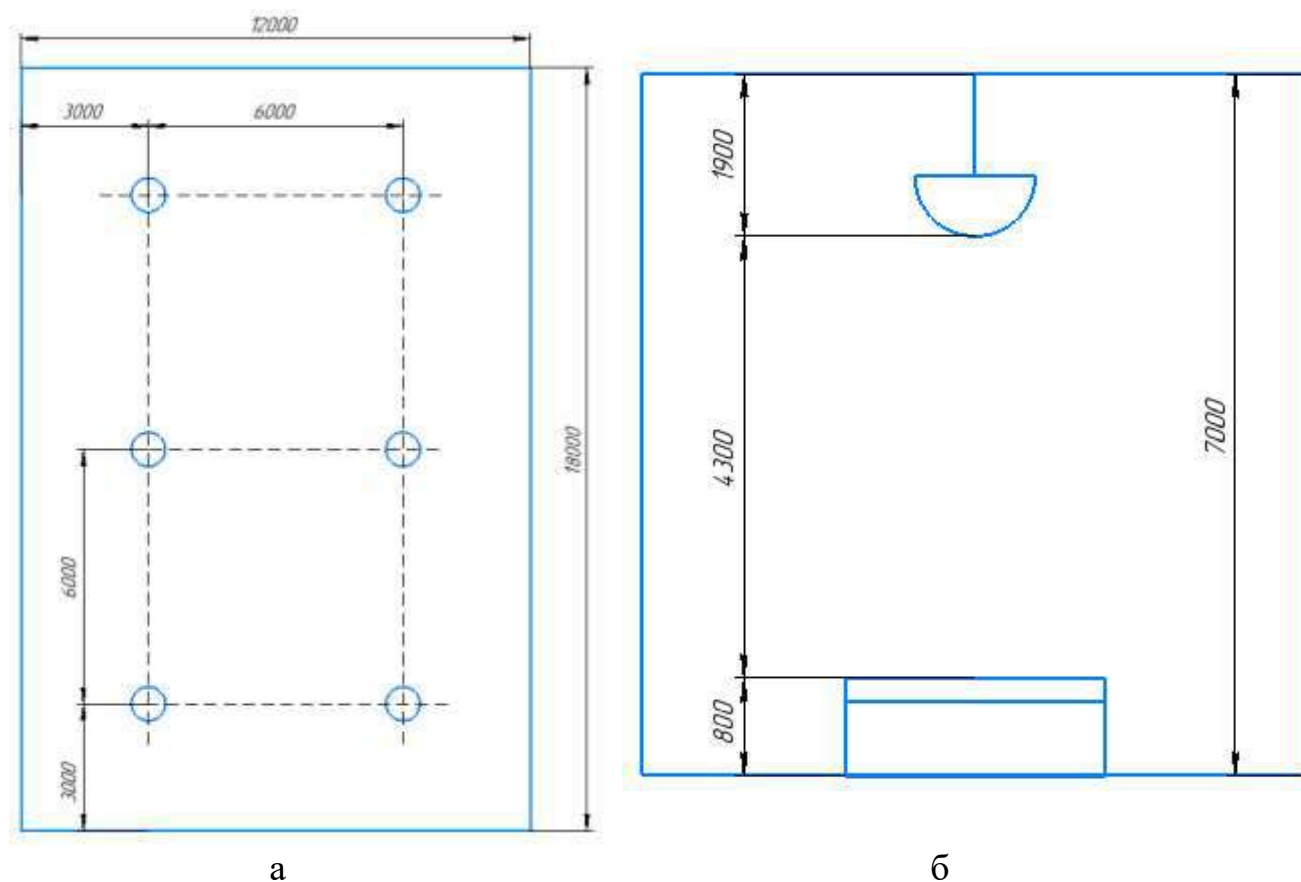
$$E_p = \frac{\Phi_l \cdot N_{cb} \cdot \eta}{S \cdot k_3 \cdot z} = \frac{36000 \cdot 6 \cdot 0,54}{216 \cdot 1,6 \cdot 1,15} = 304 \text{ (лк)} \quad (7.11)$$

- Розраховуємо загальну потужність освітлювальної установки:

$$P_\Sigma = N_{cb} \cdot P_l = 6 \cdot 400 = 2400 \text{ (Вт)} \quad (7.12)$$

- Виконати ескізи розташування світильників на плані приміщення.

При загальному рівномірному освітленні стандартні лампи, як правило, розташовують у вершинах квадратних, прямокутних або ромбічних полів (рис. 7.1).



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

Рисунок 7.1 – 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 21 - 23 °С, припустима 20 - 24 °С; відносна вологість: оптимальна

40 - 60 %, припустима 75 %; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,1 м/с, припустима не більше 0,2 м / с;

- у холодний період року на непостійних робочих місцях температура: оптимальна 21 - 23 °С, припустима 17 - 25 °С; відносна вологість: оптимальна 40 - 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 22 - 24 °С, припустима 21 - 28 °С; відносна вологість: оптимальна 40-60 %, припустима 60 % при температурі 27 °С; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,2 м / с, припустима не більше 0,1-0,3 м / с;

- у теплий період року на непостійних робочих місцях температура: оптимальна 22 - 24 °С, припустима 19 - 30 °С; відносна вологість: оптимальна 40-60 %, припустима 60 % при температурі 27 °С; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,2 м / с, припустима 0,1 - 0,3 м / с.

Ці параметри забезпечуються системами опалення, кондиціювання 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».

7.4 Заходи з пожежної безпеки.

Розглянуті заходи попередження пожеж які класифікуються як надзвичайні ситуації

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, E, 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 × 1,5; 1,5 × 2; 2 × 2), ящик з піском об'ємом не менш 0,1 м³, вогнегасники можуть розташовуватись як на пожежному щиті так і окремо (1 щит × 200 - 5000 м²).

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 небезпекою», воно належить до категорії «Г» з пожежної небезпеки – 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 небезпеки, 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

При аналізуванні виробництва, збірки та ремонту двигуна AI450 були виявлені слабкі сторони традиційної технології, а саме висока вартість виробництва та дефіцит заготовок із жароміцних матеріалів. Для вирішення цих проблем виникла необхідність пошуку та розробки нових технологій виробництва деталей які зможуть мінімізувати недоліки чи зовсім позбутися таких. В якості оптимального рішення яке задовільнить потреби було обрано технологію адитивного вирощування заготовок з подальшою обробкою під деталь.

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).

В якості присадного матеріалу обрано цільнотягнутий дріт. Так як він має 2.5-3 рази меншу ціну у порівнянні з порошком.

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

Вирощені зразки плазмовим наплавленням з використанням дроту, повністю відповідають сплаву ВЖ98 (ЭП868).

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

Рентгеноспектральний мікроаналіз показав рівномірний розподіл хімічних елементів у матеріалі термооброблених зразків.

Мікроструктура матеріал зразків, отриманих методом мікроплазмової порошкової наплавлення зі сплаву ВЖ98 (ЭП868) після термообробки, являє собою γ -твердий розчин з наявністю карбідів, карбонітридів і нітридів, розташованих упорядковано в напрямку відведення тепла в процесі вирощування (поперек шарів). Мікроструктура відповідає нормально термообробленому стану сплаву ЭИ868 (ХН60ВТ).

Механічні властивості при кімнатній температурі зразків зі сплаву EI868 (ХН60ВТ), отриманих методом адитивного наплавлення і термооброблених за режимом загартування $T=1200^{\circ}\text{C}$ – відповідають нормам механічні властивості ТУ 1-809-45-2011 1747-76 (Лист холоднокатаний), ТУ 14-1-4296-87 (Лист гарячекатаний) і поступається нормам ОСТ 1 90396-91 (Кільце цільного прокату) за міцністю на 9...12%.

Механічні властивості (σ_b , δ , ψ) при температурі 900°C зразків зі сплаву ЭИ868 (ХН60ВТ), отриманого методом адитивного наплавлення і термообробленого за режимом загартування $T=1200^{\circ}\text{C}$ – повністю відповідають нормам ТУ 14-16). Відповідають нормам ТУ 14-1-4296-87 (Лист гарячекатаний) та ТУ 27.1-00190414-038:2007 (Поковка) за міцністю, але поступаються за пластичністю (δ , %) на 25...33%.

Економіко-технічні розрахунки показали, що економічний ефект від використання нової технології на виробництві складає 3 388 082.25 гривень за розрахунковий рік.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Зубков Л.Б. Космический металл: (все о титане). М.: Наука, 1987 г. 128 с.
2. Симс Ч., Хагел В. Жаропрочные сплавы Пер. с англ. — М.: Металлургия, 1976. — 568 с.: ил.
3. Жаропрочные стали и сплавы. Химушин Ф.Ф. Изд-во «Металлургия», 1969, 2-е изд., 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. Е.Н. Каблов, И.Л. Светлов, Н.В. Петрушин Никелевые жаропрочные сплавы для литья с направленной и монокристаллической структурой (часть 1). Журнал «Материаловедение». 1997 г. №4
7. Туманов А. Т., Шалин Р. Е., Старков Д. П. Авіаційне матеріалознавство. М.: Наука, 1980, с. 332-334
8. Симс Ч., Хагел В. Жаропрочные сплавы Пер. с англ. — М.: Металлургия, 1976. — 568 с.: ил.
9. Ломберг Б.С., Овсепян С.В., Латышев В.Б., Чабина Е.Б. Жаропрочные деформируемые сплавы для горячего тракта газотурбинных двигателей (ГТД) // Авиационные материалы: сб. науч. тр. / ФГУП «ВИАМ». – М., 2007.
10. ТУ 14-1-3046-97. Прутки из жаропрочного сплава ХН50ВМТЮБ-ВИ (ЭП648-ВИ), ХН50ВМТЮБ-ИД (ЭП648-ИД). Технические условия. 1997 г. 18 с.
11. Д-18Т – опис на сайті Мотор січ [Електронний ресурс] <http://www.motorsich.com/rus/products/aircraft/tde/d-18t>
12. 500ТУМ-43 «Заготовки із сплавів ХН60ВТ (ВЖ98, EI868), ХН50ВМТЮБ (ЕП 648-ВІ), вирощені методом плазмового наплавлення». Технічні умови. Мотор січ, 2020. с. 46

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.

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., Демина Э.Л. Металлографическое травление металлов и сплавов Справочное издание. – М.: Металлургия. 1986. – 256 с.

20. Карта исследования №6 ИССЛЕДОВАНИЕ качества материала образцов из сплава ЭИ868 (ХН60ВТ) полученных методом аддитивного выращивания. Составлена 18.09.2020.

21. ISO 6892-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение. Дата введения: 1986.

22. ДСТУ ISO 204:2019 Металлические материалы. Одноосное испытание на ползучесть растяжением. Метод испытания. 2019.

23. ОСТ 1 90126-85. Сплавы жаропрочные литейные вакуумной выплавки. 1986.

24. ОСТ 1 90126-85. Сплавы жаропрочные литейные вакуумной выплавки. 1986.

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. Montevercchi 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. P. 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). P. 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., Ермаков С.А., Тополянский П.А. Плазменные технологии. Руководство для инженеров. Изд-во Политехнического ун-та. СПб.: 2013. – 406 с.

30. Вайнерман А.Е., Шоршоров М.Ш. и др. Плазменная наплавка металлов. М.: Машиностроение, 1969. – 192 с.

31. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление. Пер. с яп. Москва «Машиностроение» 1985г.

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. URL:<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. Чинний від 01.08.2011. Видано м. Київ. 36. НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила техніки безпеки при використанні електроспоживачів» Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 10.02.98 за № 93/2533. Дата введення 20.02.1998.

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. Затверджено: Наказ від 19.12.2019 № 452 Про прийняття національних стандартів, прийняття змін та поправок до національних стандартів. Дата введення: 01.01.2020.

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]. URL: https://dnaop.com/html/31688/doc-НПАОП_0.00.-1.30-01

40. НПАОП 21.0-1.01-87. Правила з охорони праці у целюлозно-паперовій промисловості. Затверджено Мінлісбумпромом СРСР 14.08.87 р. [Електронний ресурс]. URL: https://dnaop.com/html/41231/doc-НПАОП_21.0-1.01-87

41. ДСТУ 2456-94 «Зварювання. Вимоги безпеки». Затверджено: Наказ від 15.04.1994 р. №86. Дата введення 15.04.1994

42. ПП 1.1.23-007-2005. Примірня інструкція з охорони праці для електрогазозварника. Затверджено: Наказ ДК "Укртрансгаз" № .2005" року. [Електронний ресурс]. URL: https://dnaop.com/html/58147/doc-ПП_1.1.23-007-2005

43. ДСТУ EN 166:2017 «Засоби індивідуального захисту очей. Технічні умови». Затверджено наказ від 22.12.2017 №488 Про прийняття національних

нормативних документів, гармонізованих з європейськими нормативними документами. Дата введення 01.02.2018.

44. ГОСТ 12.1.005-88 «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони». Відновлено наказом «Українського науково-дослідницького центру проблем стандартизації, сертифікації та якості» від 24 квітня 2019 року №111 «Про відновлення дії міждержавних стандартів».

45. ДСТУ EN ISO 11611:2016 «Одяг захисний для використання під час зварювання та суміжних процесів» Затверджено: Наказ від 13.12.2016 № 426. Дата введення 13.12.2016.

46. ДСТУ EN ISO 10218-1:2014 «Роботи та роботизовані пристрої. Вимоги безпеки для промислових роботів.». Затверджено наказом від 29.12.2014 № 1479. На заміну ДСТУ 3738-98 (ГОСТ 12.2.072-98).

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. ПП 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». Постанова № 42 від 01.12.99 м.Київ.

52. НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».
Затверджено: Наказ від 30.12.2014 № 1417 Про затвердження Правил пожежної
безпеки в Україні

Розроб.	Урекін		
Перев.	Лаптева		
Н. контр	Попов		
	Листів 3	Лист 1	

Дубл.			
Замі.			
Підп.			

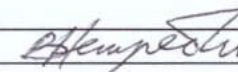
	НУЗП»	
		ДП

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

УЗГОДЖЕНО

КОМПЛЕКТ ДОКУМЕНТІВ

ЗАТВЕРДЖУЮ



Розробка технології виготовлення зовнішньої камери
згорання двигуну AI-450 на базі адитивних технологій з
проектуванням ділянки

Нормоконтроль, д.ф.н., проф. С. М. Попов

В.о. зав. кафедри ОТЗВ докт. техн. наук., Нетребко В.В.

Дата

Дата

Впроваджено у виробництво
Акт №414 Дата 05.11.22

Комплект документів відповідає

Т.Д.

Дубл.															
Взам.															
Подл.															
												Листів 3	Лист 2		
Розроб.			Урескін									НУ «ЗП» 270322.000 ПЗ			
Перевір.			Лаптева												
Н. контр.			Попов												
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. Одиниці або матеріалу				Позначення, код						ППП	ОВ	ОН	КД	Н. расх
01	177	05		041	Вирощування плазмове										
02	Зварювальний робот FANUC M-710iC				Оператор-зварювальник 3 р.						0,2		50		
03	Підкладка під вирощування				Режим:										
04	Ст 20 / цільнотягнутий дріт ВЖ-98 діаметр 1 мм				$I_{зв} = 90 \text{ A}; V_{зв} = 1,5 \text{ м / с}; V_{др} = 0,85 \text{ м / хв}$										
05															
06	177	29		015	Токарно-гвинторізна обробка										
07	Токарний станок				Токар 4 р.						0,2		2		
08	Вирощена заготовка кільця камери зорання														
09	ВЖ-98														
10	Обробка поверхні під подальше вирощування														
11															
12	177	05		41	Вирощування плазмове										
13	Зварювальний робот FANUC M-710iC				Оператор-зварювальник 3 р.						0,2		25		
14	Заготовка кільця камери зорання				$I_{зв} = 90 \text{ A}; V_{зв} = 1,5 \text{ м / с}; V_{др} = 0,85 \text{ м / хв}$										
15	ВЖ-98 / цільнотягнутий дріт ВЖ-98 діаметр 1 мм														
16															
17	3	06		007	Термічна обробка (гартування, старіння)										
18					Оператор 3 р.						0,2		1		
19	Пічна установка для термічної обробки				Режими:										
20	Заготовка кільця камери зорання				Гартування: $T = 1190 \text{ }^{\circ}\text{C}$.										
21	ВЖ-98														

Дубл.																			
Взам.																			
Подл.																			
															Листів 3		Лист 3		
Розроб.			Урескін								НУ«ЗП» 270322.000 ПЗ								
Перевір.			Лаптева																
Н. контр.			Попов																
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. Одиниці або матеріалу				Позначення, код					ППП	ОВ	ОН	КД	Н. расх					
22	8	21	015	Токарно-гвинторізна обробка															
23	Токарний станок				Токар 4 р.					0,2			5						
24	Заготовка кільця камери зорання																		
25	ВЖ-98																		
26	Чорнова обробка																		
27																			
28	61	08	018	Токарна обробка										15					
29	Токарний ЧПУ станок				Оператор ЧПУ станку 3 р.					0,2									
30	Заготовка кільця камери зорання																		
31	ВЖ-98																		
32	Чистова обробка																		
33																			
34	41	12	022	Контрольна															
35					Контролер 4 р.					0,1			1						
36	Візуальний огляд та проведення замірів																		